TRATTATO

ELEMENTARE

DI FISICA

SPERIMENTALE ED APPLICATA

E DI

METEOROLOGIA

CORREDATO DI UNA COPIOSA RACCOLTA DI PROBLEMI

ed illustrato con 685 nitide incisioni in legno

INTERCALATE NEL TESTO

ad uso delle Scuole pubbliche e private, degli aspiranti ai Gradi Accademici
e dei candidati per le cattedre degl' Istituti governativi

OPERA

DI A. GANOT

PROFESSORE DI MATEMATICA E DI FISICA

UNDECIMA EDIZIONE

AUMENTATA DI 55 NUOVE INCISIONI, DELLO SPETTROSCOPIO,
DI CINQUE SPETTRI COLORITI, DI PIÙ AMPI SVILUPPI SULL'ACUSTICA,
SULL'OTTICA E SULL'INDUZIONE,
E DI PRECETTI GENERALI PER LA SOLUZIONE E COSTRUZIONE
DELLE EQUAZIONI DEI PLOBLEMI DI FISICA

MILANO

FRANCESCO PAGNONI, TIPOGRAFO-EDITORE

Via di Ciovasso, N. 9

1864

AVVISO.

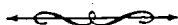
Tutto lo stampato in carattere più piccolo verrà tralasciato dai lettori che non hanno famigliare il calcolo algebrico.

I numeri collocati sotto i disegni, a destra dei numeri progressivi, indicano, in centimetri, l'altezza degli apparati, o la loro lunghezza in direzione orizzontale, secondo che quei numeri sono preceduti dalle lettere *a* o *l*.

Essendo i nostri disegni tutti quanti originali, e cavati, in generale, dal nostro gabinetto di fisica, ne è vietata la riproduzione, e sarà proceduto verso i contrafattori a termine di legge; intendasi il medesimo, in virtù dei trattati internazionali, di qualsiasi traduzione non autorizzata dall'autore. — Per l'Italia, il tipografo-editore Francesco Pagnoni è l'assoluto proprietario della presente edizione italiana e di tutte le successive.

Parigi, 13 aprile 1863.

A. GANOT.

TRATTATO ELEMENTARE
DI FISICA

LIBRO PRIMO

DELLA MATERIA, DELLE FORZE E DEL MOTO

CAPITOLO PRIMO

NOZIONI GENERALI

1. **Oggetto della fisica.** — La *fisica* ha per oggetto lo studio dei fenomeni che presentano i corpi, in quanto questi non subiscano cambiamenti nella loro composizione.

La *chimica*, al contrario, tratta dei fenomeni che modificano più o meno la natura dei corpi.

2. **Materia.** — Dicesi *materia* o *sostanza* tutto che cade immediatamente sotto i nostri sensi.

Non si conoscevano finora che sessantadue sostanze elementari o *semplici*, sostanze cioè dalle quali l'analisi chimica non giunge ad estrarre che una sola specie di materia. Questo numero è stato recentemente aumentato di tre nuovi corpi, scoperti dai signori Bunsen e Kirchhoff, a Berlino, col mezzo di un nuovo met odo di analisi che noi faremo conoscere trattando dello spettro solare. Ma è possibile che più tardi il numero di queste sostanze aumenti o diminuisca, poichè può accadere che o se ne scoprano delle nuove, o si arrivi a decomporne parecchie.

3. **Corpi, atomi, molecole.** — Ogni quantità limitata di materia è detta *corpo*. Le proprietà dei corpi provano ch'essi non sono formati d'una materia continua, ma di elementi per così dire infinitamente piccoli, che non ponno essere fisicamente divisi, e sono semplicemente sovrapposti senza toccarsi; mantenendosi in distanza a motivo delle attrazioni e delle repulsioni reciproche, che si chiamano *forze molecolari.*

Questi elementi dei corpi si chiamano *atomi*. Un gruppo d'atomi forma una *molecola*. I corpi non sono che aggregati di molecole.

4. **Massa.** — In fisica, per *massa* di un corpo s'intende la quantità di materia che esso contiene. In meccanica, questa distinzione è insufficiente, e fa d'uopo completarla come vedremo in seguito (35).

5. **Stati dei corpi.** — Si distinguono tre stati dei corpi:

1.° Lo *stato solido*, che si osserva, alle ordinarie temperature, nei legni, nelle pietre, nei metalli in generale. Questo stato è caratterizzato

da un'aderenza tra le molecole, tale, che non riesce possibile di separarle senza uno sforzo più o meno considerevole. È per questa aderenza che i corpi solidi possiedono una durezza più o meno grande, e che conservano da loro stessi la forma che la natura o l'arte ha loro data.

2.° Lo *stato liquido*, che viene presentato dall'acqua, dall'alcool, dagli oli. Il carattere distintivo dei liquidi è un'aderenza tra le molecole, così debole, ch'esse ponno scorrere le une sulle altre con una facilità grandissima: da ciò proviene che questi corpi non presentano alcuna durezza, e non hanno nessuna forma particolare, ma prendono sempre quella dei vasi che li contengono.

3.° Lo *stato gazoso*, che si riscontra nell'aria e in un gran numero d'altri corpi, che si chiamano *gas* o *fluidi aeriformi*. Nei gas la mobilità delle molecole è ancora maggiore che nei liquidi: ma il loro carattere distintivo è specialmente una tendenza a prendere continuamento un volume maggiore, proprietà detta di *espansibilità*, e che quanto prima verrà dall'esperienza constatata (126).

I liquidi e i gas prendono il nome generale di *fluidi*.

La maggior parte dei corpi semplici e molti corpi composti possono successivamente presentarsi allo stato solido, liquido e gazoso, secondo le variazioni di temperatura. L'acqua ce n'offre un esempio notissimo.

Progredendo nello studio della fisica, si riconoscerà che i tre stati dei corpi dipendono principalmente dal rapporto tra le attrazioni e le ripulsioni molecolari.

6. **Fenomeni fisici.** — Ogni cambiamento avvenuto nello stato di un corpo, senza alterazione delle sua costituzione chimica, è un *fenomeno fisico*. Un corpo che cada, un suono che si produca, un liquido che si congeli, sono altrettanti fenomeni.

7. **Leggi e teorie fisiche.** — Per *legge fisica* intendesi la relazione costante che passa tra un fenomeno e la sua causa. Per es., si dimostra che un dato volume di gas diventa due, tre volte minore, sottoponendolo a pressione due, tre volte maggiore: quest'è una legge fisica, che vien espressa dicendo essere *i volumi di gas in ragione inversa delle pressioni*.

Una *teoria fisica* è il complesso delle leggi che si riferiscono ad una stessa classe di fenomeni. Epperò si dice: la *teoria della luce*, la *teoria dell'elettricità*. Tuttavia si applica questa denominazione, anche in un senso più ristretto, alla spiegazione di certi fenomeni particolari: per es., quando si dice: la *teoria della rugiada*, la *teoria del miraggio*.

8. **Agenti fisici.** — Come causa dei fenomeni presentati dai corpi si ammette l'esistenza di *agenti fisici* o *forze naturali*, che dominano la materia.

Questi agenti sono: l'*attrazione universale*, il *calorico*, la *luce*, il *magnetismo* e l'*elettricità*.

Gli agenti fisici non si manifestano a noi che per mezzo dei loro effetti, e la loro natura c'è affatto sconosciuta. Nello stato attuale della scienza non si può dire se siano proprietà inerenti alla materia, o materie sottili, impalpabili, sparse in tutto l'universo, e i di cui effetti sono il risultato di movimenti particolari impressi alla loro massa. Quest'ultima ipotesi è generalmente ammessa; ma allora sorge la domanda: sono queste materie distinte le une dalle altre, o ripetono esse un'unica sorgente? Quest'ultima opinione sembra prevalere di mano in mano che più estesi divengono i confini delle scienze fisiche.

Nell'ipotesi che gli agenti fisici siano materie sottili, queste materie, non avendo un peso apprezzabile colle bilance le più sensibili, ricevono il nome di *fluidi imponderabili:* d'onde la distinzione di *materia ponderabile* o materia propriamente detta, e di *materia imponderabile* o *agenti fisici.*

Ai fluidi imponderabili si dà anche il nome di *fluidi incoercibili,* per indicare che non si possono raccogliere nè comprimere in vasi chiusi, come si fa coll'aria e gli altri gas.

CAPITOLO II.

PROPRIETA' GENERALI DEI CORPI

9. **Diverse sorta di proprietà.** — Sotto il nome di *proprietà* dei corpi o della materia si comprendono i loro diversi modi di presentarsi ai nostri sensi. Alcune sono *generali*, altre *particolari.* Le prime sono quelle comuni a tutti i corpi, qualunque sia lo stato in cui si considerino. Quelle che importa di conoscere fin d'ora sono: l'*impenetrabilità,* l'*estensione,* la *divisibilità,* la *porosità,* la *compressibilità,* l'*elasticità,* la *mobilità* e l'*inerzia.*

Le proprietà particolari sono quelle che non si osservano che in certi corpi o in certi stati dei corpi; tali sono la *solidità,* la *fluidità,* la *tenacità,* la *duttilità,* la *malleabilità,* la *durezza,* la *trasparenza,* il *colore,* ecc.

Pel momento si tratterà soltanto delle suesposte proprietà generali: avvertendo però che l'*impenetrabilità* e l'*estensione,* piuttosto che proprietà generali della materia, sono attributi essenziali che basterebbero per definirla. Osserviamo inoltre che la divisibilità, la porosità, la compressibilità e l'elasticità si applicano soltanto ai corpi considerati come ammassi di molecole, e non agli atomi.

10. **Impenetrabilità.** — L'*impenetrabilità* è la proprietà in virtù della quale due corpi non ponno occupare simultaneamente lo stesso posto nello spazio.

Realmente non s'incontra questa proprietà che negli atomi. In un gran numero di fenomeni sembra che i corpi penetrino l'uno nell'altro. Per es., il volume di varie leghe è minore della somma dei volumi dei metalli che entrano a formarle. Allorchè si mescola acqua con acido solforico o con alcool, si osserva una diminuzione del volume totale. Tutte queste penetrazioni sono soltanto apparenti; dipendono unicamente da ciò che siccome le parti materiali di cui i corpi son formati non si toccano, esistono tra loro degli interstizi che possono venire occupati da altre materie, come si vedrà all'articolo *Porosità* (15).

11. **Estensione.** — L'*estensione* è la proprietà che ha ciascun corpo di occupare una porzione limitata dello spazio.

Molti istrumenti furono costrutti per misurare l'estensione. Qui noi faremo conoscere il verniero e la vite micrometrica.

12. **Verniero.** — Il *verniero* trae il suo nome da quello del suo inventore, Vernier, matematico francese morto nell'anno 1637. Questo istrumento fa parte di molti apparati di fisica, come i barometri, i cateto-

metri. È formato da due regoli: il più grande, AB (fig. 1), è fisso e diviso in parti eguali, il più piccolo, *ab*, è mobile, ed è quello che costituisce propriamente il verniero. Per graduarlo gli si dà una lunghezza eguale a 9 delle parti del regolo grande, poi lo si divide in 10 parti eguali. Da che risulta che ogni parte del regolo *ab* è minore di quelle del regolo AB d'un decimo.

Posto ciò, abbiasi a misurare la lunghezza d'un oggetto MN. Lo si colloca, come dalla figura, accanto al regolo grande, e così si trova che questo oggetto ha, per es., una lunghezza eguale a quattro unità, più una frazione. È questa frazione che il verniero serve a valutare. Perciò, lo si fa scorrere sul regolo fisso finchè venga a collocarsi all'estremità dell'oggetto MN, poi si cerca ove avvenga la coincidenza tra le divisioni dei due regoli. Nel nostro disegno ha luogo all'ottava divisione del verniero, partendo dal punto N. Questo vuol dire che la frazione da misurare è uguale a 8 decimi. Infatti, essendo le parti del verniero più piccole di quelle del regolo d'un decimo, si vede che partendo

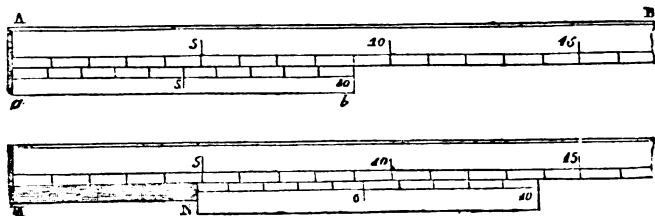



Fig. 1.

dal punto di coincidenza ed andando da destra a sinistra, le divisioni del verniero sono successivamente indietro di quelle del regolo grande, di uno, di due, di tre.... decimi. Dunque l'estremità N del verniero dista dalla quarta divisione del regolo di 8 decimi: epperò MN è uguale a 4 parti di AB più 8 decimi. Per conseguenza, se il regolo grande venne diviso in millimetri, si avrà la lunghezza di MN a meno d'un decimo di millimetro. Per ottenerla a meno di un ventesimo, d'un trentesimo, bisognerebbe dividere AB in millimetri, portarne 19 o 29 sul verniero, e dividere questo in 20 o 30 parti uguali. Ma per distinguere dove avrebbe luogo la coincidenza, bisognerebbe far uso d'una lente. Nella misura degli archi adoperasi pure il verniero per valutare, in minuti ed in secondi, le frazioni di grado.

13. **Vite micrometrica, macchina di divisione.** — Chiamasi *vite micrometrica* ogni vite che si adopera per misurare con precisione le lunghezze o le grossezze. Allorchè una vite è ben fatta, il suo *passo*, vale a dire l'intervallo fra due spire consecutive dev'essere dappertutto lo stesso: d'onde risulta che se la vite gira in una chiocciola fissa, essa progredisce ad ogni giro d'una lunghezza eguale a quella del passo: e che per una frazione di giro, per es., $^1/_{10}$, non progredisce che di $^1/_{10}$ del passo. Per conseguenza se il passo è di un millimetro, e se all'estremità della vite avvi un cerchio graduato in 360 gradi, e che gira con essa, facendo ruotare questo cerchio d'un angolo d'un grado, si farà avanzare la vite di $^1/_{360}$ di millimetro. Invece di una chiocciola fissa e d'una vite mobile, si può adottare il principio inverso, quello cioè che sia fissa la

vite e mobile la chiocciola, e che questa progredisca d'una quantità piccola quanto si vuole.

Su questo principio è fondata la macchina di divisione rappresentata dalla figura 1 *bis*, la costruzione della quale si deve al signor Duboscq. Essa consiste in un banco di metallo AQ, su cui è montata una lunga vite H, i fili spirali della quale devono essere perfettamente regolari. Questa vite si move, alle sue estremità, entro due collari d'acciaio, fissati al banco A, che non si vedono nel disegno. Questa vite è fissa, cioè ruota solamente intorno a sè stessa, ma non progredisce nel senso

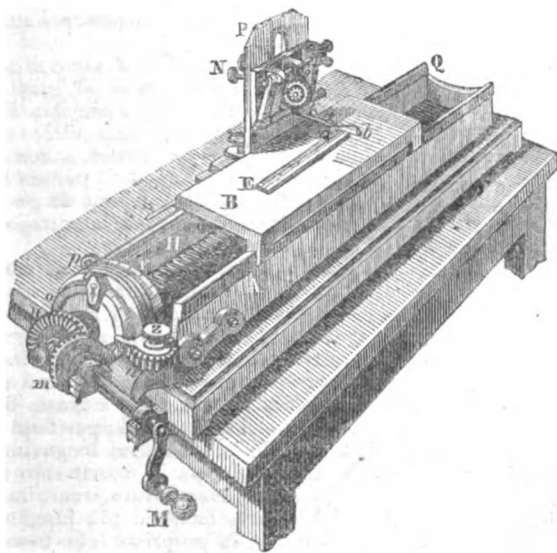



Fig. 1 *bis* (1=65).

della sua lunghezza. Movendosi, essa fa avanzare una chiocciola fissata al disotto di un piccolo carro B, e questo trascinato dalla chiocciola, scorre con dolce attrito da Q verso H, sul banco A. Il pezzo P, che porta un bulino *a* e ne regola la corsa, è invariabilmente fissato al banco di metallo.

Il moto della vite poi è prodotto in questo modo: mediante una manovella M, si fanno muovere due ruote ad angolo *m* e *n*, l'asse dell'ultima delle quali porta tre ruote *o*, *p*, *r*, invariabilmente collegate tra loro, ma indipendenti dalla vite almeno in un senso. Perciò nell'interno della ruota *p* avvi un nottolino che ingrana in una ruota dentata a sega fissata alla vite, facendola muovere colla vite quando si gira la manovella da sinistra a destra: girandola invece da destra a sinistra, il nottolino più non ingrana, e la ruota *p* gira senza far girare la vite.

Rimane ora a regolare l'angolo di cui devono girare le ruote *o*, *p*, *r*, e con esse la vite H. Perciò, sulla periferia della ruota *p* si trovano dei

fili spirali che, agendo a guisa di vite perpetua, ingranano nei denti d'una ruota *u*. Questa porta un'appendice *x*, che si fissa, mediante una vite di pressione *z*, a quella distanza che si vuole da una seconda appendice nascosta dalla vite *z*, e collegata invariabilmente alla ruota *u*. Finalmente, le periferie delle due ruote *o* ed *r* sono divise in 360 gradi, e sulla prima vedesi un piccolo pezzo saliente *i*, che viene a dar contro all'appendice *x*, e arresta la rotazione. Sulla ruota *r*, inferiormente, avvi un simile pezzo, che vien fermato dalla seconda appendice fissata alla ruota *u*. Il pezzo saliente della ruota *r* è a questa invariabilmente fissato, quello invece della ruota *o* può essere fissato su questa ruota dove si vuole. Inoltre, questo incontra l'appendice *x* quando la ruota gira da sinistra a destra, laddove quello della ruota *r* incontra l'altra appendice quando gira da destra a sinistra.

Posto ciò, vogliasi, per es., far girare la vite di un decimo di giro; allora si dispone il pezzo *i*, sulla ruota *o*, a una distanza di 36 gradi da quello della ruota *r*, e si gira la manovella M da destra a sinistra fintantochè il pezzo della ruota *r* batta contro la rispettiva appendice: quindi, girando la manovella in senso contrario, cioè da sinistra a destra, la ruota *p* allora trascina nel suo moto la vite H, e quando il pezzo *i* batte contro *x*, la vite ha girato di 36 gradi, cioè d'un decimo di giro. Epperò, se il passo della vite è di un millimetro, il carretto e la sottoposta chiocciola saranno progredite di un decimo di millimetro.

Regolato per tal modo il moto del carretto, vi si fissa con mastice la piastra E, che si vuol dividere. Le incisioni si praticano mediante un bulino *a*, caricato d'un peso. Quando il carretto si muove, sollevasi il bulino per mezzo d'un'impugnatura *b*, sulla quale si preme facendola avanzare, fermo che sia il carretto, e così resta praticata l'incisione.

Siccome la lunghezza delle incisioni deve variare di 5 in 5 e di 10 in 10, così la corsa del bulino è regolata da una ruota *k* mossa dall'azione d'un nottolino *e* ad ogni movimento del bulino. Alla periferia di questa ruota trovansi intagliate delle piccole scanalature, inegualmente profonde, in cui entra un'asta N, che partecipa al movimento in avanti del bulino. Quanto più profonda è una scanalatura, tanto maggiore è la corsa del bulino, e allora si hanno le incisioni più lunghe.

14. Divisibilità. — La *divisibilità* è la proprietà che hanno tutti i corpi di poter essere ridotti in parti distinte.

Si ponno citare molti esempi della somma divisibilità della materia. Per es., 5 centigrammi di muschio bastano per diffondere, per lo spazio di molti anni, delle particelle odorifere in un appartamento, ancorchè ne venga frequentemente cambiata l'aria.

Il sangue è composto di globetti rossi, fluttuanti in un liquido detto *siero*. Nell'uomo questi globetti, che sono sferici, hanno un diametro d'un centocinquantesimo di millimetro, e la goccia di sangue che può star sospesa alla punta di un ago ne contiene circa un milione.

Finalmente si danno animali cotanto piccoli che non si scorgono ad occhio nudo, e l'esistenza dei quali ci sarebbe sconosciuta senza l'aiuto del microscopio. Ora, questi animali si muovono, si nutrono; essi dunque hanno degli organi. Per conseguenza, quale non deve essere la somma picciolezza delle particelle di cui sono composti!

Stantechè la divisibilità dei corpi può essere spinta al punto da rendere le loro particelle impercettibili al tatto ed alla vista, anche coll'aiuto dei più potenti microscopii, non si può constatare coll'esperienza

se la divisibilità della materia abbia un limite, o se possa spingersi all'infinito. Tuttavia dietro la stabilità delle proprietà chimiche di ciascun corpo, e dietro l'invariabilità dei rapporti esistenti tra i pesi degli elementi che si combinano, si ammette che la divisibilità abbia un limite. Egli è per questo che i corpi si considerano come formati d'elementi materiali che non sono suscettibili d'essere divisi, elementi denominati *atomi*, vale a dire che non si ponno tagliare (3).

15. **Porosità.** — La *porosità* è quella proprietà, in forza della quale esistono tra le molecole dei corpi degli interstizi, ai quali si dà il nome di *pori*.

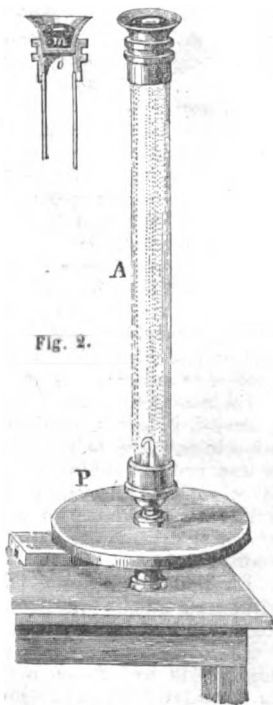
Si distinguono due specie di pori: i *pori fisici*, od interstizi abbastanza piccoli perchè le forze molecolari attrattive e ripulsive conservino la loro azione: e i *pori sensibili*, veri fori o lacune oltre i quali più non agiscono le forze molecolari. Le contrazioni e le dilatazioni convenienti dalle variazioni di temperatura sono dovute ai pori fisici: ed i fenomeni d'esalazione e d'assorbimento negli esseri organizzati hanno la loro sede nei pori sensibili.

I pori sensibili si posson vedere nelle spugne, nei legni e in un gran numero di pietre. I pori fisici non sono visibili in nessun caso. Tuttavia, accadendo in tutti i corpi pel raffreddamento e per la compressione una diminuzione di volume, si conchiude che tutti sono dotati di pori fisici.

Fig. 2.

Allo scopo di mostrare esperimentalmente i pori sensibili, si piglia un lungo tubo di vetro A (fig. 2), terminato superiormente da un vasetto di ottone *m*, ed inferiormente da un piede dello stesso metallo, che si può unire con vite al piatto P di una macchina che serve a fare il vuoto. Il fondo del vasetto *m* è formato d'un grosso cuoio di buffalo, *o*. Vi si versa del mercurio in modo da ricoprire intieramente il cuoio, poi si fa il vuoto nel tubo. Tostamente per l'effetto della pressione atmosferica a cui soggiace il mercurio, questo liquido passa attraverso i pori del cuoio e cade nel tubo sotto forma di minuta pioggia. Allo stesso modo si fa passare dell'acqua attraverso i pori del legno, sostituendo all'accennato cuoio un disco di legno tagliato perpendicolarmente alle fibre.

Immergendo nell'acqua un pezzo di creta, se ne vede uscire una serie di bollicine d'aria. Quest'aria evidentemente occupava i pori della creta, dai quali è scacciata dall'acqua che vi penetra. Infatti, se si pesa la pietra prima e dopo la sua immersione, si vede che il suo peso è considerevolmente aumentato. Per tal modo mediante il peso dell'acqua si può misurare il volume totale dei pori.

L'esperienza seguente, dovuta agli accademici di Firenze nell'anno 1661, dimostrò la porosità dei metalli. Volendo quelli constatare se per l'effetto di una forte pressione l'acqua

potesse diminuire di volume, presero una piccola sfera d'oro cava, a parete sottile, la riempirono d'acqua, e dopo di averla ermeticamente chiusa, saldandone l'orifizio, la percossero a colpi di martello onde diminuirne il volume. Accadde che a ciascun colpo l'acqua trapelò attraverso la parte, e si manifestò all'esterno come un velo di rugiada, il che dimostrò la porosità del metallo. Parecchi fisici rinnovarono quest'esperienza con altri metalli, ed ottennero lo stesso risultato.

16. **Volume apparente e volume reale.** — Avuto riguardo alla porosità, in ogni corpo si può distinguere il *volume apparente*, vale a dire la porzione dello spazio occupata da un corpo, ed il *volume reale*, cioè quello che occuperebbe la materia propria del corpo, qualora fossero nulli i pori; in altri termini, il volume reale è il volume apparente meno il volume dei pori. Il volume reale d'un corpo è invariabile: ma il volume apparente diminuisce o aumenta con quello dei pori.

17. **Applicazioni.** — Si approfittò della porosità nei filtri di carta, di feltro, di pietre, di carbone, l'uso dei quali è frequente nell'economia domestica. I pori di queste sostanze sono sufficientemente grandi per lasciar passare i liquidi, e troppo piccoli da permettere il passaggio alle sostanze che vi sono sospese. Nelle cave si praticano, nei massi di pietra, delle incavature in cui s' introducono dei cunei di legno ben secco: essendo i quali in seguito inumiditi, per la penetrazione dell'acqua nei loro pori, il legno si gonfia e produce il distaccamento di massi considerevoli. Le corde secche aumentano di diametro e diminuiscono di lunghezza quando vengono bagnate; da qui un mezzo potente di cui con vantaggio si fece uso per sollevare pesi enormi.

18. **Compressibilità.** — La *compressibilità* è la proprietà che hanno i corpi di poter essere ridotti a un volume minore per l'effetto della pressione. Questa proprietà è una conseguenza della porosità, della quale è anche una prova.

La compressibilità è variabilissima da un corpo all'altro. I corpi più compressibili sono i gas, che possono essere ridotti, sotto sufficienti pressioni, a un volume 10, 20 ed anche 100 volte minore di quello che nelle ordinarie circostanze occupano. Tuttavia, nella maggior parte dei gas si riscontra un limite di pressione, oltre il quale cessa lo stato gasoso e vi subentra lo stato liquido.

La compressibilità dei solidi è molto minore di quella dei gas, e si presenta in gradi assai diversi. Le stoffe, la carta, il sughero, il legno sono le sostanze le più compressibili. Anche i metalli sono compressibili, e una prova l'abbiamo nelle impronte che ricevono le medaglie sotto il colpo del bilanciere. Bisogna osservare che la compressibilità dei solidi ha essa pure un limite, oltre il quale i corpi, cedendo alla pressione, si disgregano tutto ad un tratto e si riducono spesso in polvere impalpabile.

La compressibilità dei liquidi è così piccola, che per molto tempo si ritennero affatto incomprensibili. Ma essa si constata coll'esperienza, come verrà dimostrato in idrostatica (78).

19. **Elasticità.** — L'*elasticità* è la proprietà che hanno i corpi di ripigliare la loro forma o il loro volume primitivo, quando cessa d'agire la forza, che alterava questa forma o questo volume. L'elasticità può essere sviluppata nei corpi mediante la pressione, la trazione, la flessione o la torsione. Qui si farà parola solamente dell'elasticità di pressione, quale proprietà generale: le altre specie di elasticità, siccome

quelle che non si ponno produrre che nei solidi, saranno collocate nel numero delle proprietà particolari a questi corpi (69).

I gas sono perfettamente elastici; il che vuol dire ch'essi ripigliano esattamente lo stesso volume, appenachè la pressione ritorni al valore primitivo. Lo stesso accade pei liquidi qualunque sia la pressione a cui soggiacquero. Non avvi nessun corpo solido perfettamente elastico come i gas e i liquidi, specialmente quando le pressioni durarono molto a lungo. Tuttavia l'elasticità è assai evidente nella gomma elastica, nell'avorio, nel vetro, nel marmo: è appena sensibile nei grassi, nelle argille, nel piombo.

Nei solidi avvi un limite d'elasticità, oltre il quale essi si rompono, o almeno non ripigliano più esattamente la loro forma o il loro volume primitivo. Nei contorcimenti, a mo' d'esempio, il limite d'elasticità dei ligamenti è stato superato. Un simile limite non si riscontra nei gas e nei liquidi, che ritornano sempre al volume primiero.

L'elasticità è il risultato d'un avvicinamento molecolare, e per conseguenza d'un cambiamento di forma, che viene nei corpi solidi constatato dall'esperienza seguente: sur un piano di marmo levigato e coperto d'un leggero strato d'olio, si lascia cadere una piccola sfera d'avorio, di vetro o di marmo. Essa è rimbalzata a un'altezza un po' minore di quella della caduta, dopo d'aver prodotto, nel luogo che ha colpito, un'impronta circolare tanto più estesa, quanto maggiore è l'altezza da cui cadde. Nel momento dell'urto la sfera è stata dunque schiacciata sul piano, e rimbalza per la reazione delle molecole così compresse.

20. **Mobilità, moto, quiete.** — La *mobilità* è la proprietà che hanno i corpi di poter passare da un luogo all'altro.

Dicesi *moto* lo stato di un corpo che cambia di luogo; *quiete* la sua permanenza in uno stesso luogo. La quiete o il moto sono assoluti o relativi.

La *quiete assoluta* sarebbe la completa privazione del moto. Non avvi in tutto l'universo verun corpo in questo stato.

Il *moto assoluto* d'un corpo sarebbe il suo cambiamento di posto rispetto a un altro corpo allo stato di quiete assoluta.

La *quiete relativa*, o apparente, è lo stato d'un corpo che sembra immobile rispetto ai corpi circostanti, ma che in realtà partecipa con essi a un moto comune. Per es., un corpo immobile in un battello che si muove è in quiete rispetto al battello, ma realmente si muove rispetto alle rive; epperò la sua quiete è relativa.

Il *moto relativo* di un corpo è il suo moto apparente, quello cioè che viene misurato rispetto ad altri corpi supposti immobili, ma che però cambiano pure di posto. Tale è il moto di un battello rispetto alle rive d'un fiume: poichè queste partecipano con quello al duplice moto di rotazione e traslazione della terra nello spazio.

Nella natura si osservano solamente i due stati di quiete e di moto relativo.

21. **Inerzia.** — L'*inerzia* è una proprietà puramente negativa: è cioè l'inettitudine della materia a passare da sè stessa dallo stato di quiete allo stato di moto, o a modificare il moto di cui è animata.

Se si vedono cadere i corpi abbandonati a sè stessi, devesi attribuire questo fenomeno a una forza attrattiva che li dirige verso il centro della terra, e non supporre che cadano spontaneamente: il diminuire

gradatamente della velocità di una palla sur un bigliardo è cagionato dalla resistenza dell'aria spostata e dall'attrito sul tappeto. Non bisognerebbe dunque conchiudere che la palla ha una tendenza alla quiete piuttosto che al moto, come dicevano certi antichi che paragonavano la materia a una persona pigra. Ogni qualvolta non evvi resistenza, il moto continua senza alterazione, del che gli astri ce n'offrono un esempio nella loro rivoluzione intorno al sole.

22. **Applicazioni.** — Moltissimi fenomeni trovano la loro spiegazione nell'inerzia della materia. Così, per es., per saltare un fosso, noi prendiamo lo slancio, affinchè, nel momento del salto, il moto da cui siamo animati aggiunga il suo effetto allo sforzo muscolare che facciamo per saltare.

Una persona che discenda da una carrozza in moto, partecipa al moto di quest'ultima, e, se non imprime al proprio corpo un moto in senso contrario, all'istante in cui mette piè a terra, è rovesciata nella direzione seguíta dalla carrozza.

È pure l'inerzia che rende sì terribili gli accidenti delle ferrovie. Infatti, se la locomotiva si arresta improvvisamente, il convoglio in causa della velocità acquistata continua ad avanzarsi, ed i vagoni urtando gli uni contro gli altri si sfracellano.

Finalmente i martelli, i pestelli, le pile o *bocards* (*), sono applicazioni dell'inerzia. Lo stesso dicasi di quelle enormi ruote di ghisa, dette *volanti*, che servono a regolare il moto delle macchine a vapore.

CAPITOLO III.

NOZIONI SULLE FORZE E SUI MOTI

23. **Forze.** — Dicesi *forza* qualunque causa capace di produrre il moto o di modificarlo.

L'azione dei muscoli negli animali, la gravità, le attrazioni e le ripulsioni magnetiche od elettriche, la tensione dei vapori, sono altrettante forze.

Generalmente si dà il nome di *potenze* alle forze che tendono a produrre un certo effetto, e quello di *resistenze* alle forze che si oppongono a questo effetto. Le prime, che tendono ad accelerare ad ogni istante il moto, diconsi *acceleratrici;* e le seconde *ritardatrici.*

Siccome poi le forze possono agire sui corpi o per un brevissimo tratto di tempo, come accade negli urti, nell'esplosione della polvere, o per tutta la durata del moto; così nel primo caso denominansi *istantanee,* e nel secondo *continue.* È d'importanza però l'osservare che non intendesi già con questo d'accennare a due specie di forze, ma solamente a due modi d'azione delle forze.

24. **Equilibrio.** — Quando molte forze sono applicate ad uno stesso corpo, può accadere che, neutralizzandosi scambievolmente queste forze,

(*) Chiamasi *bocard* un congegno di vari pestelli che vengono alternativamente sollevati ed abbandonati a sè, affinchè ricadendo polverizzino le materie sottoposte alla loro azione. Questo congegno non differisce punto dalla nostra pila da riso. *N. del T.*

non venga modificato lo stato di quiete o di moto del corpo. Questo stato particolare dei corpi si chiamò *equilibrio*. Non bisogna confondere lo stato d'equilibrio con quello di quiete: nel primo stato un corpo è sottoposto all'azione di molte forze che si distruggono a vicenda; nel secondo invece non è sollecitato da alcuna forza.

25. **Caratteri, unità e rappresentazione delle forze.** — Ogni forza è caratterizzata: 1.° dal suo *punto d'applicazione*, cioè da quel punto su cui agisce immediatamente; 2.° dalla sua *direzione*, vale a dire dalla retta ch'essa tende a far percorrere al punto cui è applicata; 3.° dalla sua *intensità*, ovverosia dal suo valore rispetto ad un'altra forza presa per unità.

La forza che si sceglie per unità è del tutto arbitraria; ma stantechè, qualunque sia l'effetto di trazione o di pressione prodotto da una forza, questo può sempre essere prodotto da un certo peso, vengono generalmente le forze paragonate a pesi, e il chilogrammo è quello che si piglia per unità di forza. Così, a cagion d'esempio, quando si dice che una forza è uguale a 20 chilogrammi, s'intende che a quella forza può sostituirsi l'azione di un peso di 20 chilogrammi. Una forza che conserva sempre la stessa intensità dicesi *costante*; ma quella la cui intensità aumenta o diminuisce chiamasi *variabile*.

Una forza quindi è completamente determinata quando se ne conoscano i caratteri, cioè il suo punto d'applicazione, la sua direzione e

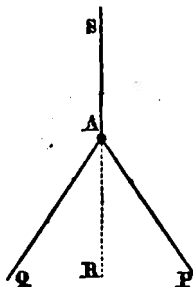
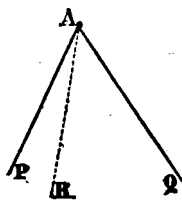



Fig. 3. Fig. 4.

la sua intensità. Affine di rappresentare questi diversi elementi d'una forza, si fa passare nel suo punto d'applicazione, e secondo la sua direzione una retta indefinita; poi su questa retta, partendo dal punto d'applicazione, e nel senso della forza, si portano tante unità di lunghezza arbitraria, per es., tanti centimetri, quante sono le unità di forza, che la forza data contiene. Si ha per tal modo una retta che determina completamente la forza. Finalmente, per distinguere le forze le une dalle altre, si contrassegnano colle lettere P, Q, R..., collocate sulle loro rispettive direzioni.

Per l'intelligenza di molti fenomeni fisici fa mestieri di richiamare i principii seguenti, che si dimostrano nei trattati di meccanica.

26. **Risultanti e componenti.** — Quando parecchie forze S, P, Q, applicate ad uno stesso punto materiale A (fig. 3), si fanno equilibrio, una qualunque di esse, per es. S, distrugge l'azione di tutte le altre. La forza S diretta in senso contrario secondo il prolungamento AR di SA,

produrrebbe dunque da sè sola lo stesso effetto del sistema delle forze P e Q.

Ogni forza, che in tal guisa può produrre lo stesso effetto di varie forze combinate, riceve il nome di *risultante*, e le altre forze, relativamente alla risultante, son dette *componenti.*

Si dimostra che un corpo, sollecitato da più forze, si move sempre secondo la direzione della risultante di tutte queste forze. Per es., se un punto materiale A (fig. 4) vien sollecitato simultaneamente da due forze P e Q, attesochè non può muoversi nel medesimo tempo secondo le rette AP ed AQ, prende una direzione intermedia AR, che è precisamente quella della risultante delle sue forze P e Q.

Tutti i problemi sulla *composizione* e la *decomposizione* delle forze si appoggiano ai teoremi seguenti, per la dimostrazione dei quali rimandiamo i lettori ai trattati speciali di meccanica.

27. **Composizione e decomposizione delle forze parallele.** — 1.° *La risultante di due forze parallele applicate ad uno stesso punto è uguale alla loro somma, se hanno la stessa direzione, ed alla loro differenza, se hanno direzione contraria.* Per es., se due uomini tirano un carico secondo direzioni parallele, cogli sforzi rispettivi 20 e 15, lo sforzo risultante è 35 o 5, secondochè tirano nel medesimo senso o in senso contrario. Parimenti, quando parecchi cavalli da tiro sono attaccati a una carrozza, questa si muove come se fosse sollecitata da una forza unica eguale alla somma delle forze di ciascun cavallo.

2.° *La risultante* R *di due forze parallele, aventi la stessa direzione ed applicate alle estremità di una retta* AB (fig. 5) *è eguale alla loro somma, è a loro parallela e divide la retta* AB *in due parti inversamente proporzionali alle forze* P *e* Q. In altri termini, essendo C il punto d'applicazione della risultante, se la forza P è doppia, tripla della forza Q, la distanza AC è la metà, il terzo di CB. D'onde si deduce che quando le forze P e Q sono uguali, la direzione della loro risultante divide la retta AB in due parti eguali.

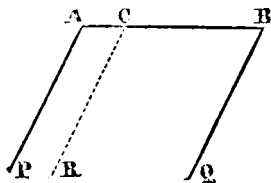



Fig. 5.

Reciprocamente, a una forza unica R, applicata in C, può essere sostituito il sistema di due forze P e Q delle quali essa è la somma, quando queste le siano parallele, e quando pigliati i punti A, B, C in linea retta, queste nuove forze siano in ragione inversa delle lunghezze AC e CB.

Volendosi la risultante di parecchie forze parellele e dirette nel medesimo senso, si cerca dapprima, nel modo che si accennò, la risultante di due di queste forze, poi quella della risultante trovata e di una terza forza, e così di seguito fino all'ultima: pel che si giunge ad una risultante finale, che uguaglia la somma delle forze date ed ha la stessa direzione.

28. **Composizione e decomposizione delle forze concorrenti.** — Diconsi *concorrenti* quelle forze, le cui direzioni s'incontrano in un medesimo punto, che può ritenersi il punto d'applicazione di tutte. Sono, per es., concorrenti le forze di parecchi uomini che, per suonare una campana, tirano delle funi fissate ad uno stesso nodo sulla corda della campana.

Abbiansi primieramente due forze concorrenti P e Q (fig. 6), e sia A il loro punto d'applicazione. Prendendo sulle loro direzioni due lun-

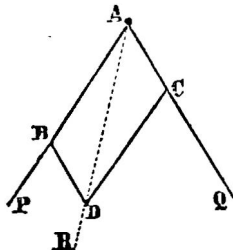
ghezze AB ed AC proporzionali alle loro intensità (25), e conducendo pei punti B e C due rette rispettivamente parallele alle direzioni delle forze, si ottiene un parallelogrammo ABDC detto *parallelogrammo delle forze*, che fa conoscere facilmente la risultante delle forze P e Q per mezzo del teorema seguente, conosciuto pure sotto il nome di *teorema del parallelogrammo delle forze.*

29. **Parallelogrammo delle forze.** — *La risultante di due forze concorrenti è rappresentata, in grandezza e in direzione, dalla diagonale del parallelogrammo costruito su queste forze.* Il che vuol dire che, nella figura 6, la risultante R delle forze P e Q è diretta secondo la diagonale AD, e contiene l'unità di forza tante volte quante questa diagonale contiene l'unità lineare che è stata portata sopra AB ed AC per rappresentare le forze P e Q.

Fig. 6.

Reciprocamente una forza unica può essere decomposta in due altre applicate allo stesso punto della prima e dirette secondo rette date. Basta per ciò costruire su queste rette un parallelogrammo, che abbia per diagonale la forza data: le lunghezze dei lati rappresentano le componenti cercate.

Nel caso di un numero qualunque di forze applicate ad uno stesso punto, in direzioni diverse, la risultante si ottiene applicando successivamente il teorema precedente prima a due di queste forze, poi alla risultante ottenuta e a una terza forza, e così di seguito fino all'ultima.

Assai di sovente si presentano alla nostra osservazione gli effetti della composizione e della decomposizione delle forze. Una barca, per es., mossa dall'azione dei remi, nell'attraversare un fiume non segue nè la direzione secondo cui la spingono i remi, nè quella della corrente, ma progredisce precisamente secondo la direzione della risultante dei due impulsi ai quali è sottoposta.

NOZIONI SUI MOTI

30. **Differenti generi di moti.** — Il *moto,* come si disse (20), è lo stato d'un corpo che passa da un luogo all'altro. Ogni moto a norma della via percorsa dal mobile, la quale può essere una retta o una linea curva, dicesi *rettilineo* o *curvilineo;* ed ognuno di questi moti può essere *uniforme* o *vario.*

31. **Moto uniforme.** — Il moto uniforme, il più semplice di tutti, è quello nel quale un mobile percorre spazi eguali in tempi uguali.

Ogni forza istantanea produce un movimento rettilineo ed uniforme, qualora il mobile non venga sottoposto ad alcuna altra forza, e non incontri resistenza veruna. Infatti, siccome la forza agisce solamente per un tempo brevissimo, il mobile, una volta che sia abbandonato a sè stesso, conserva, in causa della sua inerzia, la direzione e la velocità, che la forza gli impresse. Tuttavia, anche le forze continue ponno dar origine a moti uniformi, come avviene quando si presentano resistenze che, rinnovandosi continuamente, distruggono l'aumento di velocità che quelle forze tendono a comunicare al mobile. Per es., un

convoglio su di una ferrovia si move di moto uniforme, quantunque sollecitato da una forza continua; imperciocchè aumentando colla velocità le perdite di forza dovute alla resistenza dell'aria ed all'attrito, si stabilisce in un certo istante l'equilibrio fra la forza motrice e le resistenze.

32. **Velocità e legge del moto uniforme.** — Nel moto uniforme, chiamasi *velocità* lo spazio percorso nell'unità di tempo. Quest'unità, affatto arbitraria, è generalmente il minuto secondo. Dalla definizione del moto uniforme emerge che la velocità è costante. Pertanto in tempi espressi da due, tre, quattro, gli spazi percorsi sono doppi, tripli, quadrupli della velocità. Questa legge si esprime dicendo che *gli spazi percorsi sono proporzionali ai tempi, cioè crescono come i tempi.*

Si può rappresentare questa legge mediante una formola semplicissima. A tal uopo siano v la velocità, t il tempo, ed s lo spazio percorso nel tempo t. Siccome v rappresenta lo spazio percorso nell'unità di tempo, così lo spazio percorso in 2, 3.... unità di tempo, sarà espresso da $2v$, $3v$.... ; e finalmente quello nel tempo t da tv: si ha dunque la formola $s = vt$.

Da questa formula si deduce $v = \frac{s}{t}$: di modo che si può anche dire *essere la velocità il rapporto fra lo spazio ed il tempo impiegato a percorrerlo.*

33. **Moto vario.** — Il moto *vario* è quello in cui un mobile percorre in tempi eguali spazi disuguali. Sono infinite le specie di questo moto: ma quella che qui più c'importa di considerare è il moto uniformente vario.

Il *moto uniformemente vario* è quello in cui gli spazi percorsi in tempi uguali aumentano o diminuiscono costantemente d'una stessa quantità. Nel primo caso il moto è *uniformemente accelerato;* tale è quello d'un corpo che cada, fatta astrazione dalla resistenza dell'aria. Nel secondo caso *uniformemente ritardato;* tale è il moto d'una pietra lanciata verticalmente dal basso all'alto.

Il moto uniformemente vario è sempre prodotto da una forza continua costante, che agisce come potenza o come resistenza, secondo che il moto è accelerato o ritardato.

34. **Velocità e leggi del moto uniformemente accelerato.** — Nel moto uniformemente accelerato, non essendo eguali gli spazi percorsi in tempi eguali, la velocità non è più lo spazio percorso nell'unità di tempo come nel moto uniforme. Per *velocità,* ad un dato istante, s'intende lo spazio, che, partendo da quest'istante, sarebbe percorso dal mobile, in ciascun minuto secondo, qualora la forza acceleratrice ad un tratto cessasse, cioè divenisse uniforme il moto. Per es., quando si dice che la velocità di un mobile, dopo 10 minuti secondi di moto uniformemente accelerato, è di 60 metri, s'intende che se la forza acceleratrice, che fino allora agì, cessasse dopo 10 minuti secondi, il mobile, a motivo della sua inerzia, continuerebbe a moversi percorrendo uniformemente 60 metri in ogni minuto secondo.

Ciò posto, ogni moto uniformemente accelerato, qualunque ne sia l'aumento di velocità, è soggetto alle due leggi seguenti:

1.° *Le velocità crescono proporzionalmente ai tempi:* cioè dopo un tempo doppio, triplo, quadruplo, anche la velocità è doppia, tripla, quadrupla.

In fatti la forza continua, che è causa d'un moto accelerato, può paragonarsi ad una serie d'impulsi eguali, che si succedono ad intervalli

di tempo eguali ed infinitamente piccoli. Ora, producendo ciascuno di questi impulsi, ad ogni intervallo, una velocità costante, che si aggiunge a quella che il mobile possedeva già nell'intervallo precedente, ne consegue che la velocità va costantemente crescendo di quantità eguali in tempi eguali.

2.° *Gli spazi percorsi sono proporzionali ai quadrati dei tempi impiegati a percorrerli:* che è quanto dire, che, rappresentando con 1 lo spazio percorso in un minuto secondo, gli spazi percorsi in 2, 3, 4, 5.... minuti secondi, saranno rappresentati da 4, 9, 16, 25...., che sono i quadrati dei numeri esprimenti il tempo.

Queste due leggi si dimostrano col calcolo (55); trattando della gravità si vedrà come si verifichino mediante l'esperienza (54).

35. **Proporzionalità delle forze alle accelerazioni, quantità di moto.** — Vien dimostrato dalla meccanica razionale che quando più forze costanti F, F', F''....., agiscono successivamente su di uno stesso corpo, esse gli imprimono, in tempi eguali, delle velocità accelerate G, G', G''..... proporzionali a queste forze, vale a dire che si ha $\frac{F}{F'}=\frac{G}{G'}$, $\frac{F}{F''}=\frac{G}{G''}$.....

Questo principio permette dunque di misurare le forze mediante gli aumenti di velocità che esse comunicano ai mobili, calcolandosi le forze a chilogrammi e le velocità a metri; di più siccome dalle equazioni qui sopra, deducesi $\frac{F}{G}=\frac{F'}{G'}=\frac{F''}{G''}$.. si ., vede che per uno stesso corpo, il rapporto tra la forza che lo anima e l'aumento di velocità che essa gli comunica è costante, qualunque siasi la forza.

Egli è questo rapporto costante che i meccanici hanno adottato per rappresentare la *massa* dei corpi (4), e dicono che *due corpi hanno la stessa massa quando, animati da forze eguali, acquistano nello stesso tempo eguali aumenti di velocità.*

Rappresentando con M e m le masse di due corpi, con F e f le forze che agiscono su di essi, con V e v le velocità che esse loro comunicano nello stesso tempo, si ha dunque $\frac{F}{V}=M$, e $\frac{f}{v}=m$; o $F=MV$, e $f=mv$. Dividendo fra di loro i membri corrispondenti di queste due equazioni si ha $\frac{F}{f}=\frac{MV}{mv}$.

Il prodotto MV della massa di un corpo per la velocità di cui è animato, ha ricevuto il nome di *quantità di moto* di questo corpo. Si può dunque enunciare l'ultima equazione qui sopra, dicendo che *due forze qualunque stanno fra loro come le quantità di moto che esse imprimono a due masse differenti.* Per conseguenza se si prende per unità di forza quella che imprimerebbe all'unità di massa l'unità di velocità nell'unità di tempo, si vedrà che le forze possono misurarsi dalle quantità di moto che loro corrispondono.

Dall'essere le forze proporzionali alle loro quantità di moto, emerge che per una medesima forza il prodotto MV è costante: vale a dire che diventando la massa due o tre volte maggiore, la velocità è due, tre volte minore. Tanto si deduce dall'ultima equazione precedente ponendovi $F=f$, per cui si ha $MV=mv$, ossia $\frac{M}{m}=\frac{v}{V}$: cioè *le velocità impresse da una medesima forza a due masse non eguali sono in ragione inversa di queste masse.*

Se $V=v$, si ha $\frac{F}{f}=\frac{M}{m}$; vale a dire che *due forze stanno fra di loro come le masse alle quali esse imprimono delle velocità eguali.*

Gli effetti prodotti dall'urto dipendono dalla quantità di moto del corpo urtante: e siccome questa quantità è direttamente proporzionata alla massa ed alla velocità, ne consegue che un corpo, quantunque sia piccola la sua massa, può tuttavia possedere una quantità di moto considerevole, purchè sia animato da una grandissima velocità: tale è l'effetto della palla di fucile. Parimenti un corpo, animato da una debole velocità, possiede ancora una quantità di moto grandissima, qualora sia la sua massa sufficientemente grande: tale è l'effetto dei martelli, dei pestelli, dei *bocard*, delle berte che servono ad

affondare i pali sott'acqua. Finalmente se il corpo possiede e una gran velocità e una gran massa, la sua quantità di moto raggiungerà una potenza formidabile. Egli è da ciò che derivano i danni prodotti da una palla di cannone ed i terribili accidenti delle ferrovie.

Nelle cariche di cavalleria il massimo effetto è dal lato della maggior quantità di moto. Da questo lato, il peso dei cavalli, delle bardature, degli uomini e delle armi ha il suo effetto utile, qualora venga animato da una velocità più o meno grande: poichè, se la velocità fosse nulla, sarebbe pur nulla la quantità di moto. Anche in questo caso l'esperienza ha sempre mostrato che la cavalleria composta di cavalli e di uomini maggiormente dotati di massa e di forza non può sostenere a piè fermo l'urto della cavalleria leggera.

LIBRO II.

GRAVITA' ED ATTRAZIONE MOLECOLARE

CAPITOLO PRIMO

EFFETTI GENERALI DELLA GRAVITA'

36. **Attrazione universale, sue leggi**. — L'*attrazione universale* è una forza, in virtù della quale tutte le parti materiali dei corpi tendono continuamente le une verso le altre.

Questa forza è riguardata come una proprietà generale inerente alla materia. Essa agisce su tutti i corpi, sieno essi in quiete od in moto: è sempre reciproca tra loro, e la sua azione si esercita a tutte le distanze ed attraverso tutte le sostanze.

L'attrazione universale prende il nome di *gravitazione,* se si esercita tra gli astri; quello di *gravità*, se si considera l'attrazione esercitata dalla terra sui corpi per farli cadere; e quello di *attrazione molecolare,* parlando della forza che unisce tra loro le molecole dei corpi. Si vedranno in seguito quali siano le leggi della gravitazione e della gravità, ma si ignorano quelle della attrazione molecolare.

I filosofi dell'antichità, Democrito, Epicuro, avevano adottata l'ipotesi d'una tendenza della materia verso centri comuni sulla terra e sugli astri. Keplero ammise un'attrazione reciproca tra il sole, la terra e gli altri pianeti. Bacone, Galileo, Hooke, hanno parimenti riconosciuta un'attrazione universale; ma Newton, pel primo, dalle leggi di Klepero sul movimento dei pianeti, dedusse che la gravitazione è una legge generale della natura, e che *tutti i corpi si attraggono fra loro in ragion composta delle masse e in ragione inversa del quadrato delle distanze.*

Dopo Newton, l'attrazione reciproca della materia fu dimostrata esperimentalmente da Cavendish, celebre chimico e fisico inglese, morto sul principio di questo secolo. Questo scienziato, mediante un apparato detto *bilancia di Cavendish,* che consiste in una bilancia di torsione (70), giunse a rendere sensibile l'attrazione esercitata da una grossa palla di piombo su di una piccola sfera di rame.

37. **Gravità**. — La gravità è la forza in virtù della quale i corpi abbandonati a sè stessi *cadono,* cioè si dirigono verso il centro della terra. Questa forza, la quale non è che un caso particolare dell'attrazione universale, è dovuta all'attrazione reciproca che si esercita tra la massa della terra e quella dei corpi.

La gravità, come la gravitazione universale, agisce in ragione inversa del quadrato della distanza e proporzionalmente alla massa. Essa si esercita su tutti i corpi, in qualunque condizione questi si trovino; e se alcuni, come le nubi, il fumo, sembrano sottrarvisi, sollevandosi nell'atmosfera, si vedrà in seguito (161) doversi attribuire la causa alla gravità stessa.

38. **Direzione della gravità, verticale ed orizzontale.** — Quando le molecole di una sfera materiale agiscono per attrazione, in ragione inversa del quadrato della distanza, su di una molecola situata fuori di questa sfera, si dimostra, nella meccanica razionale, che la risultante di tutte queste attrazioni è quale sarebbe se tutte le molecole della sfera fossero condensate nel suo centro. Da questo principio risulta, che in ciascun punto della superficie del globo l'attrazione della terra è diretta verso il suo centro. Tuttavia, lo schiacciamento della terra ai poli, la non omogeneità delle sue parti, le ineguaglianze della sua superficie, sono altrettante cause che possono cambiare la direzione della gravità, ma d'una quantità poco sensibile.

Dicesi *verticale* la direzione della gravità, cioè la retta che seguono i corpi cadendo. Siccome su tutti i punti del globo le verticali convergono sensibilmente verso il centro, così la loro direzione cambia da un luogo all'altro; ma per punti poco distanti gli uni dagli altri, quale sarebbero le molecole d'uno stesso corpo o di corpi vicini, le verticali si considerano come rigorosamente parallele; poichè il raggio medio della terra, ossia quello che corrisponde alla latitudine di 45°, essendo 6 367 400 metri, gli angoli che comprendono queste verticali sono insensibili. Tuttavia per due punti lontani l'uno dall'altro, l'angolo non è trascurabile. Esso è di circa 2° 12′ fra le verticali di Parigi e di Dunkerque, e di 7° 28′ fra quelle di Parigi e di Barcellona. Per determinare l'angolo compreso dalle verticali di due luoghi differenti, si osserva da ciascuno di questi luoghi una stessa stella, e si misura l'angolo che il raggio visuale fa colla verticale. La differenza degli angoli trovati è l'angolo compreso dalle due verticali.

Per *retta orizzontale, piano orizzontale,* s'intende una retta, un piano perpendicolare alla verticale.

39. **Filo a piombo.** — La verticale di un luogo qualunque si determina col *filo a piombo*, ossia un filo al quale è sospesa una piccola palla di piombo (fig. 7). Questo filo, fissato per la sua estremità superiore ed abbandonato a sè stesso, prende naturalmente la direzione della verticale; poichè si vedrà in seguito che un corpo che ha soltanto un punto d'appoggio, non può essere in equilibrio se non quando il suo centro di gravità ed il punto d'appoggio sono situati su di una medesima verticale (43).

Fig. 7.

Il filo a piombo non può indicare se la direzione della gravità in un luogo è costante. Infatti, se si osservasse che il filo a piombo dapprima parallelo, per es., al muro di un edificio, ha cessato d'esserlo, non si potrebbe dire se è la gravità che ha cambiato direzione o il muro che si è inclinato. Ma parlando delle proprietà dei liquidi, noi vedremo che la loro superficie non può conservarsi orizzontale, o *essere di livello,* se non quando essa è perpen-

dicolare alla direzione della gravità (86). Per conseguenza se questa cambiasse, lo stesso accadrebbe del livello dei mari. La stabilità di questo livello è dunque una prova che la direzione della gravità è costante.

Tuttavia vicino ad una gran massa di materia come una montagna, il filo a piombo devia: Lacondamine e Bouguer hanno constatato che la montagna del Chimborasso imprime al filo a piombo una deviazione di 7″, 5.

CAPITOLO II.

DENSITA', PESI, CENTRO DI GRAVITA', BILANCE

40. **Densità assoluta e densità relativa.** — Chiamasi *densità* di un corpo la sua massa sotto l'unità di un volume (4). Non si può dir qual sia la *densità assoluta*, cioè l'effettiva quantità di materia contenuta da un corpo; ma si può soltanto determinare la sua *densità relativa*, vale e dire la quantità di materia che esso contiene, a volume eguale relativamente a un altro corpo preso per termine di confronto. Questo corpo pei solidi e pei liquidi è l'acqua distillata, presa a 4° sopra 0; pei gaz è l'aria. Per conseguenza quando si dice che la densità dello zinco è 7, s'intende che un dato volume di questo metallo contiene 7 volte la quantità di materia contenuta in un egual volume di acqua.

Rappresentando con V il volume di un corpo, con M la sua massa assoluta e con D la quantità di materia che esso contiene sotto l'unità di volume, cioè la sua densità assoluta, è evidente che la quantità totale di materia contenuta nel volume V è V volte D: da cui $M = VD$. Da questa eguaglianza si ricava $D = \frac{M}{V}$; per cui si può anche dire che la *densità assoluta di un corpo è il rapporto tra la sua massa ed il suo volume.*

41. **Pesi** — In ciascun corpo si distinguono il *peso assoluto*, il *peso relativo* ed il *peso specifico.*

Il *peso assoluto* di un corpo è la pressione che esso esercita sull'ostacolo che si oppone alla sua caduta. Questa pressione altro non è che la risultante delle azioni della gravità sopra ciascuna molecola del corpo; dal che risulta che essa è tanto più intensa quanto maggiore è la quantità di materia contenuta dal corpo: ciò che si esprime dicendo che il *peso d'un corpo è proporzionale* alla sua massa.

Il *peso relativo* d'un corpo è quello che si determina colla bilancia; è cioè il rapporto fra il peso assoluto di un corpo ed un altro peso determinato scelto per unità. Quest'unità nel sistema metrico è il grammo. Così quando si trova che un corpo pesa 58 grammi, 58 è il suo peso relativo. Adottando un'altra unità cangerebbe il peso relativo, ma non l'assoluto.

Finalmente il *peso specifico* d'un corpo è il rapporto che passa fra il suo peso relativo, sotto un certo volume, ed il peso di un egual volume d'acqua distillata ed a 4° sopra zero. Quindi, col dire che il peso specifico dello zinco è 7, s'intende che, a volume eguale, lo zinco pesa 7 volte più dell'acqua distillata.

Essendo il peso dei corpi, che hanno egual volume, proporzionale alla loro massa, ne risulta che se un corpo contiene il doppio, il triplo di materia, in confronto dell'acqua, deve essere due, tre volte più pesante. Per conseguenza il rapporto fra' pesi, ossia il peso specifico, deve essere uguale al rapporto fra le masse, cioè alla densità relativa. Per ciò le espressioni *densità relativa* e *peso specifico* sono generalmente considerate come equivalenti. Nulladimeno, dato il caso che la gravità fosse distrutta, più non vi sarebbe nè peso assoluto, nè peso relativo, mentre si potrebbero sempre considerare le densità. Esse non si potrebbero allora determinare colla bilancia; ma però, sapendosi (35) che il rapporto delle masse è uguale a quello delle forze, che imprimerebbero a queste masse una medesima velocità nello stesso tempo, riuscirebbe ancora possibile di determinare le densità.

Abbiamo veduto precedentemente (35) che la massa di un corpo è eguale al rapporto costante della forza che lo anima all'acceleramento di velocità che essa gli imprime; se dunque si rappresenta con P il peso assoluto di un corpo, vale a dire la forza che tende a farlo cadere; con g l'acceleramento di velocità che la gravità gli imprime, acceleramento che può essere preso per intensità di questa forza; finalmente con M la massa del corpo, si ha $\frac{P}{g} = M$, d'onde $P = Mg$.

Questa formola dimostra che il peso di un corpo è proporzionale alla sua massa e all'intensità della gravità. Sostituendo ad M il suo valore VD (40), si ha $P = VDg$. Con un altro corpo, il cui peso, densità e volume fossero P', V' e D', si avrebbe egualmente $P' = V'D'g$. Per $D = D'$, si ha $\frac{P}{P'} = \frac{V}{V'}$ [1]; e per $P = P'$, si ha $VD = V'D'$, d'onde $\frac{V}{V'} = \frac{D'}{D}$ [2]. Dalla equazione [1] si conchiude che, *a densità eguale, i pesi sono proporzionali ai volumi*; e dalla equazione [2], che, *a pesi eguali, i volumi sono in ragione inversa delle densità.*

Più oltre diremo dei processi impiegati per determinare i pesi specifici dei solidi e dei liquidi rapporto all'acqua. Quanto ai gas, i loro pesi specifici si stabiliscono relativamente all'aria, e la loro determinazione richiede delle cognizioni sul calorico che si daranno in seguito.

42. Centro di gravità e modo di determinarlo sperimentalmente. — Il *centro di gravità* d'un corpo è il punto per cui passa costantemente la

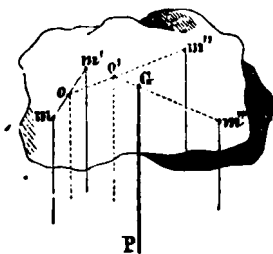
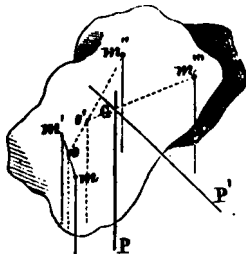



Fig. 8. Fig. 9.

risultante delle azioni della gravità sulle molecole del corpo, in tutte le posizioni che esso può prendere.

Ogni corpo ha un unico centro di gravità. Infatti siano *m*, *m'*, *m''*, *m'''*...., le molecole di una massa qualunque (fig. 8). Essendo esse sollecitate dalla gravità secondo direzioni verticali, ne nasce un sistema di forze parallele, la risultante delle quali si ottiene cercando dapprima quella delle forze che sollecitano due molecole qualsivogliano *m* ed *m'* (27), poi la risultante della forza già ottenuta e di quella che sollecita una terza molecola *m''*, e così di seguito finchè si ha una risultante finale P, applicata in G e rappresentante il peso del corpo. Ora se si dispone il corpo diversamente, come nella figura 9, le molecole *m*, *m'*, *m''*...., sono ancora sollecitate dalle stesse forze, che agivano sul corpo quand'era nella posizione rappresentata dalla figura 8: epperò la risultante delle forze che sollecitano *m* ed *m'* continua a passare sul punto *o*, la risultante che vien dopo per *o'*, e così di seguito fino alla risultante P, che passa ancora per G, in cui incontra la direzione GP', che la stessa risultante aveva, rapporto al corpo, nella prima posizione. Siccome poi lo stesso avviene per tutte le posizioni in cui può essere collocato il corpo, così il punto G, pel quale passa costantemente la direzione del peso, è il centro di gravità.

La ricerca del centro di gravità di qualsiasi corpo spetta alla geometria: ma in molti casi si può immediatamente determinarlo. Per esempio, il centro di gravità d'una retta omogenea è situata nel punto di mezzo della retta; quella d'un cerchio, d'una sfera, nel loro centro. Il centro di gravità di un cilindro trovasi nel punto di mezzo dell'asse: e nella statica si dimostra, che quello di un triangolo è sulla retta che unisce uno dei vertici col punto di mezzo del lato opposto, ed a due terzi di questa retta partendo dal vertice: e che quello d'una piramide o d'un cono è collocato sulla retta che congiunge il vertice col centro di gravità della base, e a tre quarti di questa retta partendo dal vertice.

Fig. 10.

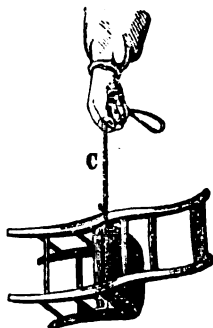



Fig. 11.

Molte volte può il centro di gravità essere determinato colla esperienza. A tal uopo, si sospende il corpo ad una funicella, successivamente in due diverse posizioni, come vedesi nelle figure 10 e 11: poi si cerca il punto in cui la funicella CD nella seconda posizione in-

terseca la direzione AB, che la funicella aveva nella prima posizione: questo punto è il centro di gravità cercato. Infatti, siccome in ciascuna posizione l'equilibrio non può aver luogo se non quando il centro di gravità si trova inferiormente al punto di sospensione della funicella e sulla sua direzione (43), così ne risulta che il centro di gravità deve essere situato e sull'una e sull'altra direzione della funicella, e quindi nel loro punto d'incontro.

Nei corpi, la forma e l'omogeneità dei quali sono invariabili, la posizione del centro di gravità è costante. Essa è variabile in quelli in cui avviene il contrario, come negli animali, la posizione del centro di gravità dei quali cambia al cambiare delle attitudini.

43. Equilibrio dei corpi pesanti. — Siccome l'azione della gravità si riduce ad una forza unica, verticale, diretta dall'alto al basso, ed applicata al centro di gravità, così, acciò abbia luogo l'equilibrio, basta che questa forza sia distrutta dalla resistenza d'un punto fisso pel quale passi la sua direzione.

Qui si presentano due casi, secondochè il corpo pesante è sostenuto da un sol punto d'appoggio o da parecchi. Nel primo caso il centro di gravità deve coincidere col punto d'appoggio, o trovarsi sulla verticale che passa per questo punto. Nel secondo, basta che la verticale, condotta dal centro di gravità passi nell'interno della *base*, cioè del poligono che si ottiene congiungendo fra loro i punti d'appoggio.

Nelle torri di Pisa e di Bologna, le quali sono talmente inclinate all'orizzonte che sembrano minacciare della loro caduta i passaggieri, l'equilibrio sussiste perchè il centro di gravità si trova in una verticale passante nell'interno della base.

Un uomo è tanto più fermo sui piedi quanto più ampia è la base che questi presentano; perchè può dare a'suoi movimenti maggiore estensione, senza che la verticale condotta dal suo centro di gravità cada fuori di questa base. Se si appoggia su di un sol piede, la stabilità diminuisce: diminuisce ancor più se si solleva sulla punta dei piedi. In questa posizione una debolissima oscillazione basta perchè la verticale condotta dal centro di gravità non passi più per la base, e cessi l'equilibrio.

44. Diversi stati d'equilibrio. — A norma della diversa posizione del centro di gravità rispetto al punto d'appoggio, sonvi tre casi d'equilibrio, cioè: lo stato d'*equilibrio stabile*, quello d'*equilibrio instabile*, e quello d'*equilibrio indifferente*.

L'*equilibrio stabile* è lo stato di un corpo che deviato dalla sua posizione d'equilibrio, vi ritorna da sè stesso, tosto che non vi si opponga nessun ostacolo. Questo stato si presenta tutte le volte che un corpo è in tal posizione che il suo centro di gravità si trovi più basso che in ogni altra posizione vicina. Ciò essendo, qualora il corpo venga spostato, il suo centro di gravità non può essere che rialzato; e siccome la gravità tende incessantemente ad abbassarlo, dopo una serie d'oscillazioni, lo riconduce alla primitiva posizione, e l'equilibrio si ristabilisce. Tale è il caso d'un bilanciere d'orologio, o quello di un uovo su di un piano orizzontale, quando il suo asse maggiore è sensibilmente parallelo a questo piano.

Come esempio d'equilibrio stabile, si costruiscono delle figurine d'avorio (fig. 12), che si fanno star ritte su di un piede, caricandole di due palle di piombo collocate sì basso, che in tutte le posizioni, il cen-

tro di gravità g delle palle e delle figurine si trovi al disotto del punto d'appoggio.

L'*equilibrio instabile* è lo stato d'un corpo che deviato dalla sua posizione d'equilibrio, non tende che ad allontanarsene vieppiù. Questo stato si presenta tutte le volte che un corpo è in tal posizione che il suo centro di gravità è collocato più in alto che in ogni altra posizione vicina: perchè se per uno spostamento qualunque il centro di gravità vien abbassato, la gravità tende a farlo viemaggiormente abbassare. Tale è il caso di un uovo appoggiato su di un piano orizzontale coll'asse maggiore verticale, e quello di un bastone che si tiene in equilibrio ritto sopra un dito.

Fig. 12 (a. = 21.)

Finalmente si dà il nome di equilibrio *indifferente* a quello che sussiste in tutte le posizioni, che può prendere un corpo. Questo genere d'equilibrio ha luogo quando, in tutte le diverse posizioni del corpo, il suo centro di gravità non è nè rialzato nè abbassato, come succede di una ruota di carrozza sostenuta dal proprio asse, o di una sfera situata sopra un piano orizzontale.

La figura 13 rappresenta tre coni A, B, C, rispettivamente collocati nella posizione d'equilibrio stabile, instabile e indifferente. In tutti e tre la lettera g segna la posizione del centro di gravità.

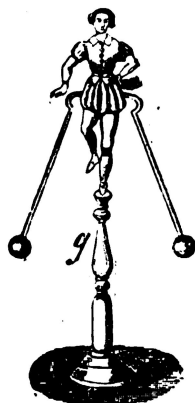
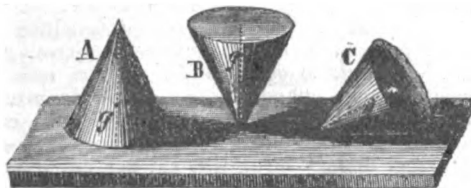



Fig. 13.

45. **Leve.** — Prima di far conoscere la teoria delle bilance richiameremo un'altra teoria che fa parte del corso di meccanica, la teoria cioè della leva, senza la quale non si può intender bene ciò che si riferisce alle bilance.

Chiamasi *leva* qualunque verga AB (fig. 14), diritta o incurvata, che poggia sopra un punto fisso c, intorno a cui si aggira in senso contrario per l'azione di due forze parallele o concorrenti. L'una di queste forze, quella che agisce come motore, è la *potenza*, l'altra la *resistenza*. Dalla varia posizione del punto d'appoggio relativamente ai punti d'applicazione della potenza e della resistenza, distinguonsi tre generi di leve: 1.° la *leva di primo genere*, quando il punto d'appoggio è collocato tra la potenza e la resistenza; 2.° la *leva di secondo genere*, allorquando la resistenza è tra il punto d'appoggio e la potenza; 3.° la *leva di terzo genere*, quando la potenza si trova tra il punto d'appoggio e la resistenza.

Nei tre generi di leva, le rispettive distanze della potenza e della resistenza dal punto d'appoggio si chiamano *bracci di leva*. Se la leva è diritta e perpendicolare alle direzioni di queste due forze, come nella figura 14, le due porzioni Ac e Bc della leva sono esse stesse i bracci di leva: ma se la leva è inclinata rispetto alla direzione della forza (fig. 15), i bracci di leva sono le perpendicolari *ca* e *cb* abbassate dal punto fisso su queste direzioni.

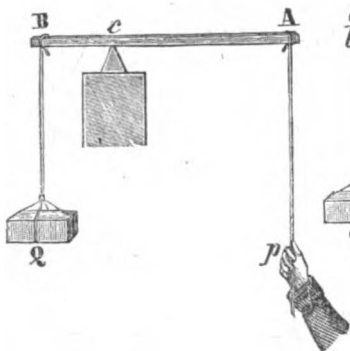
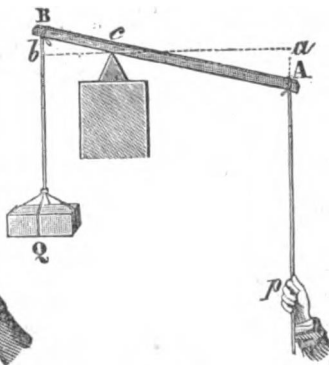



Fig 14. Fig. 15.

Posto ciò, si dimostra in meccanica che una forza che tende a far girare una leva intorno al suo punto d'appoggio, produce tanto maggior effetto quanto più lontana è la sua direzione da questo punto, ovvero, ciò che è lo stesso, *quanto maggiore è il braccio di leva sul quale essa agisce*. Risulta da ciò che quando la potenza e la resistenza hanno eguale intensità, ed agiscono su bracci di leva eguali, esse producono lo stesso effetto, ma in senso contrario, e quindi si fanno equilibrio: ma se agiscono su bracci di leva disuguali, se, per es., il braccio di leva della potenza è doppio, triplo di quello della resistenza, risulta dal principio suesposto che gli effetti non saranno eguali, tranne nel caso che la potenza sia due, tre volte minore della resistenza, locchè si esprime dicendo, che *affinchè due forze sollecitanti una leva si facciano equilibrio, si richiede che le loro intensità sieno in ragione inversa dei bracci di leva ai quali sono applicate.*

Vale a dire che, nella figura 15 si ha $\frac{P}{Q} = \frac{bc}{ac}$, da cui $P \times ac = Q \times bc$.

Ora, in meccanica, il prodotto $P \times ac$ di una forza per la perpendicolare abbassata dal centro di rotazione *c* sulla sua direzione, si chiama *momento* di questa forza per rapporto a questo punto. Si può dunque enunciare la suddetta eguaglianza, dicendo che: quando due forze applicate ad una leva si fanno equilibrio, *i momenti della potenza e della resistenza per rapporto al punto di appoggio sono eguali*.

Premesse queste nozioni, passiamo alla teoria delle bilance.

46. **Bilance.** — Chiamansi *bilance* gli apparati che servono a misurare il peso relativo dei corpi. Se ne costruiscono di molte sorta.

La bilancia ordinaria (fig. 16) consiste in una leva di primo genere *mn*, chiamata *giogo*, il di cui punto d'appoggio è nel mezzo; alle estremità

del giogo sono sospesi i *bacini* o *piatti* P, Q, di egual peso, e destinati a ricevere l'uno gli oggetti che si voglion pesare, e l'altro i pesi. Il

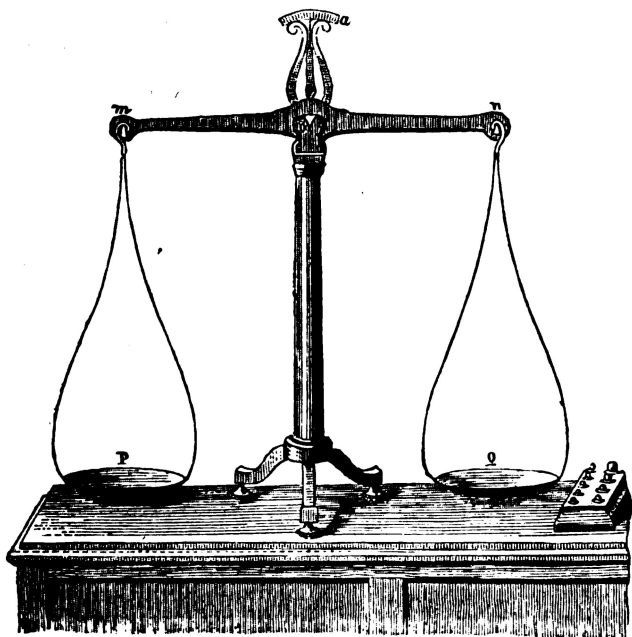



Fig. 16.

Fig. 17

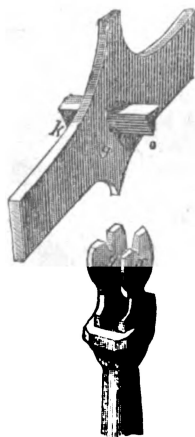



Fig. 18.

giogo è attraversato nel mezzo da un prisma d'acciaio *ok* (fig. 18) detto *coltello;* per diminuire l'attrito, l'angolo saliente di quest'ultimo, che è l'*asse di sospensione* del giogo, poggia colle sue due estremità su due pianerottoli levigati x, y, di agata o di acciaio, che costituiscono la *staffa.* Alle estremità del giogo sono inoltre adattati due prismi più piccoli, il cui angolo saliente è rivolto all'insù. È su questi angoli salienti che riposano, mediante cucinetti i due piatti P e Q (fig. 17). Finalmente alla parte superiore del giogo è fissato un lungo indice che oscilla davanti ad un piccolo arco graduato *a*, fisso e portato dalla colonna C, sulla quale riposano la staffa e il giogo. Quando quest'ultimo è ben orizzontale, la estremità dell'ago corrisponde al mezzo dell'arco.

In seguito a questi particolari si hanno a cercare le condizioni alle quali deve soddisfare una bilancia: 1.° per essere *precisa,* cioè perchè dia delle pesate esatte; 2.° per essere *sensibile,* ossia perchè oscilli sotto l'influenza di una piccolissima differenza di peso nei due piatti.

47. Condizioni di precisione. — 1.° *I due bracci del giogo devono essere rigorosamente eguali in lunghezza e in peso,* se no, giusta la teoria della leva, dovrebbersi collocare nei bacini pesi ineguali acciò si facessero equilibrio. Affine di riconoscere se i bracci del giogo sono uguali, si collocano nei piatti dei pesi in modo che il giogo prenda una posizione orizzontale. Scambiando allora i pesi nei due bacini, il giogo rimarrà orizzontale se i bracci sono uguali, poichè in questo caso, sono eguali anche i pesi; altrimenti il giogo inclinerà dal lato del braccio più lungo.

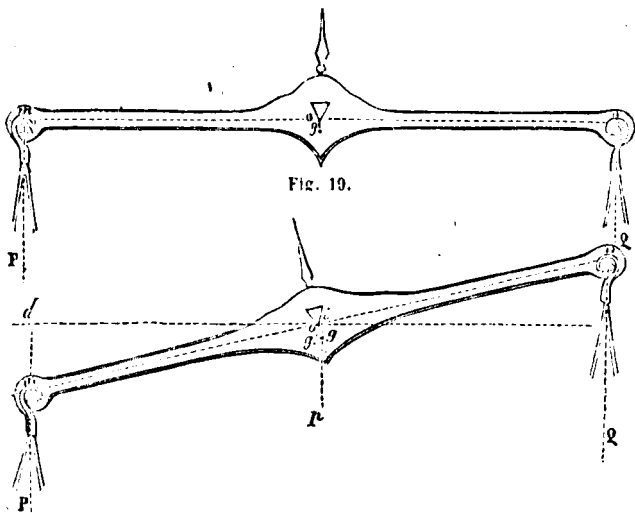



Fig. 19.

Fig. 20.

2.° *Gli spigoli m, n, o, dei tre prismi devono essere in linea retta* (fig. 19). Infatti i bracci di leva essendo eguali, come si è veduto, quando i pesi P e Q posti nei due piatti sono essi pure eguali, la loro risul-

tante P + Q, o 2P, è esattamente applicata all'asse di sospensione *o* (27). Ora, questo asse essendo fisso, la risultante si trova distrutta, e di conseguenza, il giogo prende esattamente la stessa posizione di quando i piatti sono vuoti.

3.° *Il centro di gravità g del giogo deve trovarsi sulla retta og perpendicolare alla linea mn, che passa per gli assi di sospensione dei tre prismi e al disotto dell'asse ok* (fig. 18 e 19). Infatti queste due condizioni soddisfatte, siano carichi o no i piatti, il giogo prende necessariamente la posizione orizzontale; giacchè il suo centro di gravità tende sempre a disporsi al di sotto dell'asse di sospensione sulla verticale condotta per questo asse, posizione in cui l'equilibrio è stabile (44).

Nel caso in cui i pesi P e Q posti nei due bacini siano ineguali, e in cui P, ad esempio, sia maggiore di Q, il giogo si inclina (fig. 20), e il suo centro di gravità è così rialzato da *g'* in *g*, fino a che il peso *p* del giogo faccia equilibrio all'eccesso di peso P — Q, condizione che si realizzerà sempre.. Infatti il braccio di leva *oi*, all'estremità del quale è applicato il peso *p*, aumentando coll'inclinazione del giogo, mentre il braccio di leva *do* diminuisce, i momenti $p \times oi$ e $(P - Q) \times do$ finiranno necessariamente per essere eguali (45). Da che si scorge che soddisfatte le due condizioni suesposte, la posizione orizzontale del giogo indica l'eguaglianza dei pesi posti nei due bacini.

Fin qui si è supposto il centro di gravità del giogo non solamente sulla retta *go* perpendicolare a *m o n*, ma al disotto dell'asse di sospensione. Che accadrebbe se coincidesse con questo asse o fosse al disopra di esso? Nel primo caso l'azione della gravità sul giogo essendo distrutta in tutte le posizioni che esso potrebbe prendere, non potrebbe oscillare. Nel secondo, il giogo non potrebbe prendere che uno stato di equilibrio instabile, e la bilancia si chiamerebbe *folle.*

Nelle scuole di fisica si rendono sensibili i tre casi presentati dalla posizione del centro di gravità relativamente al coltello, mediante un giogo, il coltello del quale può essere rialzato od abbassato per mezzo d'una vite che gira in una madrevite praticata nello stesso coltello

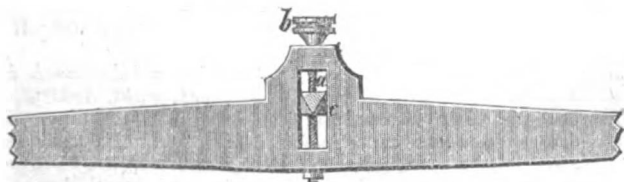



Fig. 20 *bis.*

(fig. 20 *bis*). Quando il coltello trovasi nel punto più alto della scanalatura *c*, entro la quale sale o discende, il centro di gravità è collocato superiormente al suo spigolo: il giogo è in equilibrio stabile, ed oscilla liberamente sui punti che sostengono il coltello. Ma se, facendo girare la vite, si abbassa lentamente il coltello in modo che il suo spigolo coincida col centro di gravità del giogo, allora questo più non oscilla, e resta in equilibrio in qualunque posizione piaccia di collocarlo. Finalmente, continuando ad abbassare il coltello, il centro di gravità passa al disopra dei punti d'appoggio, e allora la bilancia è folle.

48. **Condizioni di sensibilità.** — Le condizioni di sensibilità della bilancia si deducono facilmente dalle condizioni di equilibrio della leva (45). Infatti, P — Q essendo, come si è detto di sopra, l'eccesso del peso che fa inclinare la bilancia (fig. 20), *p* il peso del giogo, *od* la perpendicolare abbassata dal punto *o* sulla direzione di P — Q, e *oi* la perpendicolare abbassata dallo stesso punto sulla direzione di *p*, si ha, dietro la conosciuta condizione di equilibrio della leva,

$$\frac{P - Q}{p} = \frac{oi}{od}, \text{ o } (P - Q) \times od = p \times oi.$$

Ora si osserva che, nel primo membro di questa equazione, P — Q è la potenza che tende a far inclinare il giogo, e *od* la proiezione della metà *om* del giogo sul quale essa agisce; mentre nel secondo membro, *p* è la resistenza che tende a mantenere il giogo orizzontale, ed *oi*, la proiezione della distanza *og* del centro di gravità del giogo all'asse di sospensione. E poichè, secondo la teoria della leva, l'effetto che tende a produrre una forza dipende non soltanto dalla sua intensità, ma anche dalla lunghezza del braccio di leva al quale essa è applicata, ne segue che l'inclinazione del giogo deve essere tanto più considerevole quanto sono maggiori le quantità P — Q e *om*, e quanto sono più piccole le quantità *p* e *og*. Da che si deducono le seguenti quattro condizioni di sensibilità:

Ritenute eguali tutte le altre circostanze, una bilancia è tanto più sensibile:

1.° *Quanto maggiore è l'eccesso di peso* P — Q;

2.° *Quanto è più lungo il braccio del giogo;*

3.° *Quanto minore è il peso del giogo;*

4.° *Quanto più il centro di gravità del giogo è vicino all'asse di sospensione.*

5.° A queste condizioni aggiungiamo quella, che *una bilancia è tanto più sensibile, quanto più dolce è l'attrito del coltello sui suoi punti di appoggio.* Ragione per cui lo si fa poggiare su due pianerottoli ben levigati di agata o di acciaio temperato.

Finalmente osserviamo che *la sensibilità di una bilancia è indipendente dalla grandezza dei pesi* P *e* Q *posti nei piatti.* Infatti, codesti pesi essendo eguali, la loro risultante 2P è applicata nel punto *o*, punto di mezzo del giogo, e per conseguenza è distrutta dalla resistenza del punto d'appoggio.

Tuttavia, quando questi pesi sono un po' considerevoli, la semplicità diminuisce: 1.° perchè lo sfregamento del coltello su la staffa aumenta; 2.° perchè il giogo cominciando a curvarsi, il suo centro di gravità si abbassa, ciò che aumenta la resistenza $p \times oi$.

49. **Bilancia di precisione.** — La bilancia rappresentata dalla figura 16 è quella che si adopera in commercio, relativamente ai bisogni del quale essa è sufficientemente precisa: ma in fisica e particolarmente nelle analisi chimiche si richieggono bilance più precise.

La figura 21 rappresenta una bilancia di precisione costruita dal Deleuil, e siffattamente gelosa che inclina per un eccesso di peso di un milligrammo, anche quando ciascun piattello è caricato d'un chilogrammo.

Acciò l'aria non agiti questa bilancia, la si copre con una cassa di vetro, che nello stesso tempo la preserva dalla polvere e dall'umidità. Per introdurvi gli oggetti che si voglion pesare si solleva la parete anteriore della cassa, facendola scorrere entro apposite scanalature praticate nei lembi verticali delle due pareti contigue.

Per non aggravare lo spigolo saliente del coltello quando la bilancia non funziona, si tiene sollevato il giogo mediante un pezzo mobile che si denomina *forchetta*. Affine d'intenderne il meccanismo si osservi primieramente che il pezzo A A è fisso, come pure le due aste verticali

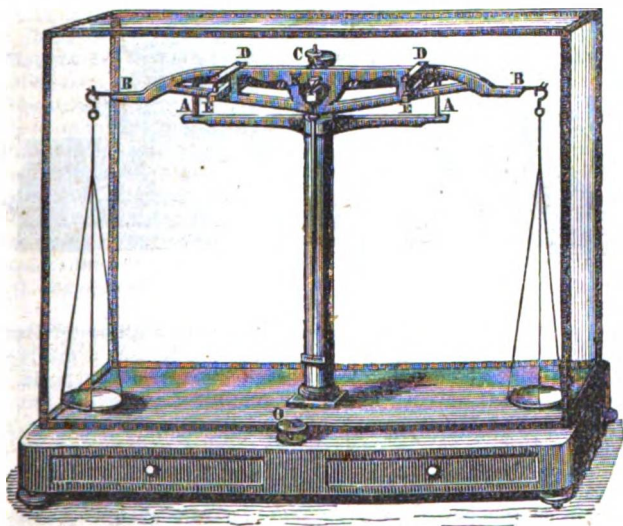



Fig. 21.

che stanno alle sue estremità. I due pezzi DD sono uniti al giogo e destinati a ricevere la spinta della forchetta. Questa consiste in una verga *aa*, alla quale sono fissate due traverse orizzontali EE, che si alzano colla forchetta, sollevano i due pezzi DD, e con questi il giogo. La forchetta è guidata nel suo movimento dalle aste AA, che la attraversano, alle sue estremità, a dolce sfregamento. Il movimento della forchetta poi si ottiene mediante un bottone O, che si gira colla mano, e che comunica il suo movimento a una vite situata internamente alla colonna. Girando questa vite, si fa salire la forchetta che solleva i due pezzi EE, e per mezzo di questi il giogo BB.

Si giudica dell'orizzontalità del giogo col mezzo d'un lungo indice l'estremità superiore del quale è fissata al giogo stesso, e l'inferiore corrisponde ad un arco di cerchio graduato, che è collocato sul piede della bilancia.

Finalmente, un bottone a vite C, situato sul giogo, serve ad aumentare la sensibilità della bilancia: facendo salire questa vite, si innalza

il centro di gravità del giogo, e si rende per tal modo, come vedemmo (48), più sensibile la bilancia.

50. **Bilancia a sospensione inferiore.** — Nelle bilance testè descritte, i punti di sospensione sono superiori ai bacini. Ora, da alcuni anni in qua si fabbricano delle bilance a punti di sospensione inferiori, l'uso delle quali vieppiù si diffonde nel commercio. Queste bilance (fig. 22) sono graziosamente foggiate, non ingombrano i banchi come le bilance

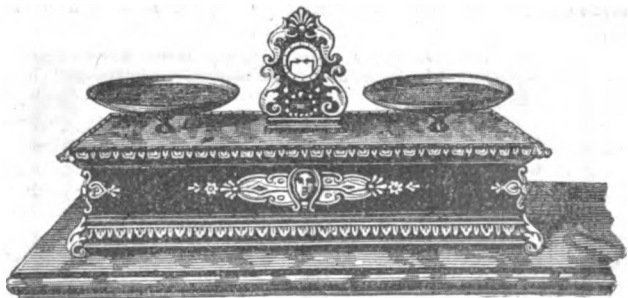



Fig. 22.

a colonna, e sono specialmente commode per pesare gli oggetti voluminosi: la quale comodità non offrono le bilance ordinarie, a motivo delle catene o dei cordoncini, a cui s'attaccano i piattelli. Tuttavia le bilance a sospensione inferiore non sono bilance di precisione, perchè in esse l'attrito è grande: ma ponno essere adoperate in commercio, stantechè l'errore è di un qualche decigrammo.

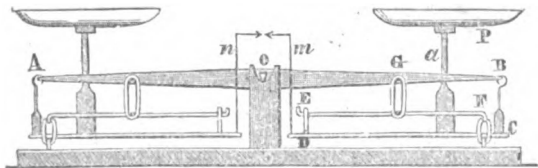



Fig. 23.

Le prime bilance a sospensione inferiore ebbero il nome di *bilance inglesi*, ed anche quello di *bilance di Roberval*, poichè effettivamente erano un'applicazione d'un principio sulle leve dato da questo geometra professore di matematica a Parigi nel secolo XVII. La bilancia che descriveremo (fig. 22 e 23) è una combinazione della bilancia di Roberval e di quella di Quintenz, dovuta a Béranger, fabbricatore a Lione. Questo costruttore ebbe di mira: 1.° che il movimento dei bacini avvenisse esattamente in linea retta; 2.° che lo stato d'equilibrio della bilancia fosse indipendente dalla posizione della carica nei bacini, condizione che sussiste teoricamente nella bilancia di Roberval, ma che rigorosamente non ha luogo in pratica, per causa degli attriti.

Il meccanismo adottato da Béranger si compone per ciascun bacino, di tre leve AB, EF e DC (fig. 25). La leva DC, che porta il bacino P, si abbassa o s'innalza nello stesso tempo, a' suoi due estremi di quantità eguali, quando l' estremità B discende o sale, come facilmente si scorge osservando la figura. Questa leva DC si muove dunque parallelamente a sè stessa, e per conseguenza l'asta a, tanto nella discesa che nella salita, si mantiene verticale. Attesa la combinazione delle tre leve, la posizione della carica nei piatti non influisce come nella bilancia di Roberval. Però, in tutte le bilance, è preferibile il collocamento della carica nel mezzo dei bacini. Due astine ripiegate m e n, fissate alla leva orizzontale DC, salgono e scendono colla medesima, e quando la bilancia è in equilibrio sono l'una dirimpetto all'altra.

51. **Metodo delle doppie pesate.** — Borda, fisico francese, morto a Parigi nell'anno 1799, trovò un metodo che serve ad ottenere delle pesate accuratissime anche per mezzo d'una bilancia a bracci disuguali. A tale scopo si dispone in uno dei piattelli il corpo che si vuol pesare, e lo si equilibra mediante della migliarola di piombo o della sabbia, di cui si carica l'altro piattello: poi si toglie dal primo piatto il corpo che si vuol pesare, e vi si sostituiscono dei grammi e degli altri pesi minori, finchè si ristabilisca l'equilibrio. Il peso ottenuto in tal modo è precisamente quello del corpo: poichè, in questa doppia pesata, la stessa resistenza venne equilibrata dal corpo e dai grammi, rimanendo lo stesso il braccio del giogo su cui hanno successivamente agito.

Si può determinare con precisione il peso di un corpo anche col metodo seguente, che consiste nel pesare due volte il corpo, collocandolo successivamente in ciascuno dei piatti, ciò che equivale ancora alla doppia pesata; indi a dedurre col calcolo dai due risultati ottenuti, il peso cercato.

E per vero, collocato il corpo da pesarsi in uno dei piatti, e nell'altro dei grammi sino a che si abbia equilibrio, sia x il peso cercato, p il numero dei grammi che fanno equilibrio con esso, e a e b la lunghezza dei bracci di leva corrispondenti rispettivamente ai pesi x e p. Secondo il principio d'equilibrio della leva, indicato più sopra (45), si ha $\frac{x}{p} = \frac{b}{a}$, o $ax = bp$ (1). Così pure se rappresentasi con p' il numero dei grammi che fanno equilibrio col corpo dopo averlo cangiato di piatto, si ha $bx = ap'$ (2). Moltiplicando membro per membro le equazioni (1) e (2), e sopprimendo il fattore comune ab, si ha:

$$x^2 = pp', \qquad \text{da cui } x = \sqrt{pp'}.$$

Ciò che dimostra che *il peso cercato è media proporzionale fra i due pesi p e p'.*

I due bracci d'una bilancia non essendo mai perfettamente eguali, devesi, nella pesata di precisione, far sempre uso di uno dei due metodi suesposti. Tutto questo però non basta per ottenere rigorosamente il peso di un corpo. Diffatti, si vedrà in appresso (167) che ogni corpo pesato nell'aria perde una parte del suo peso eguale al peso dell'aria spostata; d'onde risulta che ogni peso ottenuto colla bilancia non è che un peso apparente, minore del peso reale. Si vedrà più tardi (168), dopo che avremo trattato delle dilatazioni e dei vapori, come si possa, mediante il calcolo, dedurre il peso reale dal peso apparente.

CAPITOLO III.

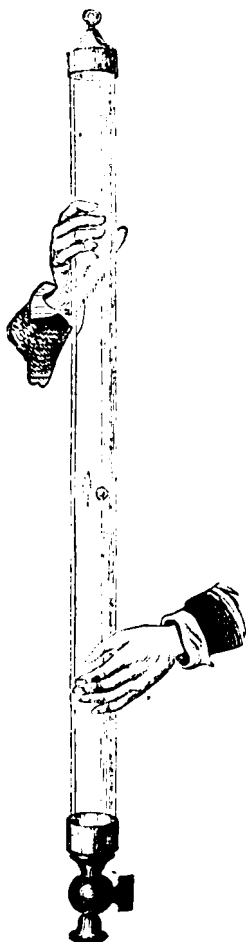
LEGGI DELLA CADUTA DEI CORPI, INTENSITA' DELLA GRAVITA', PENDOLO

52. **Leggi della caduta dei corpi.** — Trascurando la resistenza dell'aria, supponendo cioè che i corpi cadano nel vuoto, troviamo che i corpi che cadono vanno soggetti alle tre leggi seguenti:

1.ª LEGGE. — *Tutti i corpi nel vuoto cadono con equale velocità.* Questa legge si dimostra coll'esperienza mediante un tubo di vetro, longo circa due metri, chiuso ad un'estremità, e terminato all'altra da un robinetto d'ottone. Vi si introducono dei corpi di densità diverse, per es., del piombo, del sughero, della carta, una barba di penna; e quindi vi si pratica il vuoto colla macchina pneumatica. Capovolgendo allora rapidamente il tubo, si vede che tutti i corpi introdottivi cadono, con egual velocità (fig. 24). Ma se, dopo d'aver fatto rientrar un po' d'aria, si capovolge di nuovo il tubo, si osserva che i corpi più leggeri cadono alquanto meno velocemente dei più pesanti. Finalmente questa diminuzione di velocità riesce sensibilissima, quando siasi lasciata rientrare totalmente l'aria nel tubo. Dal che si conchiude che se nelle condizioni ordinarie i corpi cadono con velocità diverse, bisogna attribuirne la causa unicamente all'aria e non supporre che l'azione della gravità sia più intensa su questa sostanza che su quella. Poichè, egli è vero bensì che un corpo, che ha una massa doppia di quella d'un altro, è attratto verso la terra da una forza doppia; ma dovendo questa forza doppia mettere in moto una doppia quantità di materia, non può imprimere a questa, come vedemmo (35), che un grado di velocità eguale a quello della velocità comunicata all'altro corpo da una forza due volte minore.

Fig. 24 (a = 2m.)

La resistenza che l'aria oppone alla caduta dei corpi è sensibile principalmente pei liquidi. Nell'aria essi si dividono e cadono in gocciole, mentre invece nel vuoto cadono senza dividersi, come una massa solida. Questo fenomeno si dimostra col *martello d'acqua*. Chiamasi così un tubo di vetro di qualche spessore, lungo da 30 a 40 centimetri, riempito per metà d'acqua e chiuso alla lampada, dopo averne scacciata l'a-

ria mediante l'ebollizione. Allorquando si capovolge rapidamente questo tubo, l'acqua, cadendo, va a colpire l'estremità inferiore mandando un suono secco, paragonabile all'urto di due corpi solidi.

2.ª LEGGE. — *Gli spazi percorsi da un corpo che, partendo dallo stato di quiete, cade nel vuoto, sono proporzionali ai quadrati dei tempi impiegati a percorrerli.*

In altri termini gli spazi percorsi nei tempi rappresentati da 1, 2, 3, 4... sono rispettivamente rappresentati da 1, 4, 9, 16...

3.ª LEGGE. — *La velocità acquistata da un corpo, che cade nel vuoto, è proporzionale alla durata della caduta.* Cioè alla fine d'un tempo doppio, triplo, quadruplo, la velocità acquistata è anch'essa doppia, tripla, quadrupla.

Conseguenza. — Siccome, giusta la seconda legge, ritenendo rappresentato da 1 lo spazio percorso nel primo minuto secondo, quelli percorsi in 2, 3, 4, 5.... secondi sono 4, 9, 16, 25..., ne consegue che lo spazio percorso nella seconda unità di tempo è 4 meno 1, ossia 3; quello percorso nella terza è 9 meno 4, ossia 5; quello nella quarta, 16 meno 9, ossia 7, e così di seguito: locchè vuol dire che *gli spazi percorsi successivamente nella prima, nella seconda, terza, quarta.... unità di tempo stanno fra loro come la serie naturale dei numeri dispari* 1, 3, 5, 7....

Le leggi della caduta dei corpi non si verificano che nel vuoto e quando le altezze da cui cadono sono poco considerevoli. Se i corpi cadono nell'aria, esse sono modificate in forza della resistenza che v'incontrano. Inoltre si vedrà quanto prima che per altezze disuguali nell'atmosfera l'intensità della gravità non è rigorosamente la stessa (56).

Galileo, alla fine del secolo XVI, scoprì le leggi della gravità, e le fece conoscere nelle sue lezioni all'Università di Pisa, ove insegnava le matematiche.

53. **Piano inclinato.** — S'immaginarono molti apparati per dimostrare le leggi della caduta dei corpi, cioè: il *piano inclinato*, la *macchina d'Atwood* e l'*apparato a cilindro girante* di Morin. Noi non descriveremo che i due primi, nei quali il moto è sufficientemente lento perchè si possa trascurare la resistenza dell'aria.

Chiamasi *piano inclinato* qualunque piano che faccia con un piano orizzontale un angolo minore di un retto. Quanto più acuto è quest'angolo, tanto minore è la velocità d'un corpo che discende lungo il piano inclinato. Infatti, rappresenti AB (fig. 23) il profilo d'un piano inclinato, AC quello d'un piano orizzontale e BC la perpendicolare abbassata da un punto B del piano inclinato sul piano orizzontale. Sia M un corpo qualunque appoggiato al piano inclinato; si potrà sempre decomporre il suo peso P in due forze Q e F, l'una perpendicolare, l'altra parallela al piano inclinato. La prima sarà distrutta dalla resistenza del piano, e la sola forza F agirà sulla massa M per farla discendere. Per calcolare il valore di F, si porti sulla GP una lunghezza GH rappresentante la grandezza del peso P, e si compia il parallelogrammo DGEH (29): la forza F allora è rappresentata da DG. Ora essendo i triangoli DGH e ABC simili, perchè hanno gli angoli eguali, si avrà

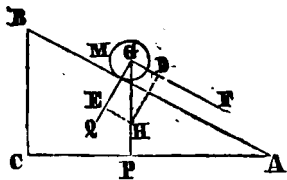



Fig. 23.

$$\frac{DG}{GH} = \frac{BC}{AB}, \text{ ossia } \frac{F}{P} = \frac{BC}{AB}.$$

Dall'ultima eguaglianza si conchiude che la forza F è tanto minore relativamente a P, quanto minore è l'*altezza* BC del piano inclinato relativamente alla lunghezza AB. Puossi dunque impicciolire la forza F quanto si vuole, e rallentare il moto del mobile M in mode che riesca possibile di misurare, sul piano inclinato, gli spazi percorsi in uno, due, tre...

minuti secondi; e tutto questo senza che le leggi del moto sieno cambiate, imperocchè la forza F è continua e costante. Fu in questo modo che Galileo scoprì che gli spazi percorsi crescono come i quadrati dei tempi.

54. Macchina d'Atwood. — Le leggi della caduta dei corpi si dimostrano anche col mezzo della *macchina d'Atwood*, così chiamata dal nome del suo inventore, professore di chimica a Cambridge, alla fine del secolo scorso. Questa macchina si compone di una colonna di legno (fig. 26) dell'altezza di circa 2^m, 30. Alla sua sommità avvi una cassa di vetro sotto la quale è situata una puleggia d'ottone: nella gola di questa si colloca un filo di seta così sottile, che il suo peso possa essere trascurato: esso porta ai suoi capi due pesi eguali M ed M'.

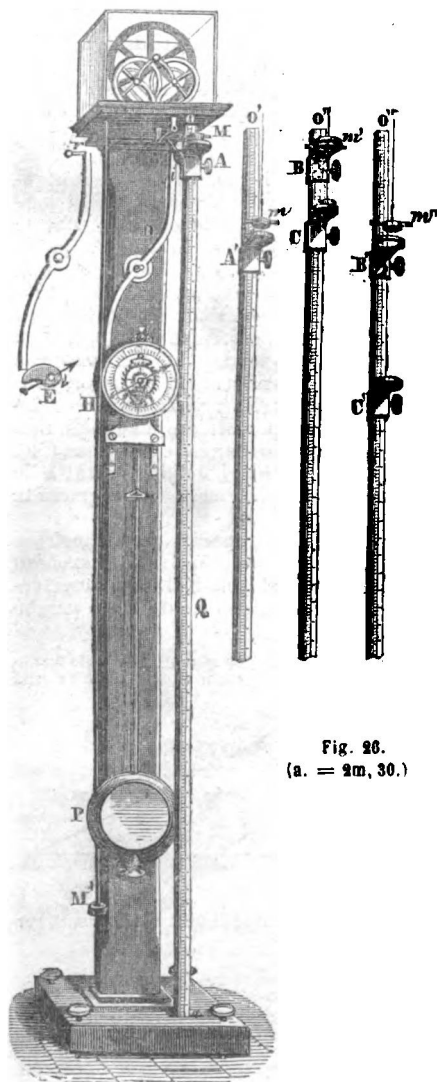



Fig. 26.
(a. = 2m, 30.)

L'asse della puleggia, in luogo di poggiare sopra due cuscinetti fissi, riposa sulle periferie incrociate di quattro ruote mobili. Trasmettendo, mediante tale disposizione, l'asse della puleggia il suo moto alle quattro ruote, invece di un attrito radente, si produce un attrito volvente, il quale è vinto con minor dispendio di forza.

Alla colonna è fissato un meccanismo da orologio H, regolato da un pendolo a secondi P, per mezzo di uno scappamento ad áncora (figura 30 pag. 43). Quest'ultimo è rappresentato sul quadrante superiormente alla ruota di rincontro, la quale ne occupa il centro. Lo scappamento oscilla col pendolo, e inclinando ora a destra, ora a sinistra, lascia passare ad ogni oscillazione un dente della ruota di rincontro. L'asse di questa porta all'estremità anteriore un indice che segna i secondi, e all'estremità posteriore, dietro il quadran-

te, un eccentrico, che è rappresentato in E, alla sinistra della colonna. Questo eccentrico, che gira contemporaneamente colla lancetta, poggia sopra una leva D, e facendola avanzare, fa cadere un piatto r, i, che era sostenuto da questa leva, e destinato a sorreggere la massa M.

Finalmente, parellelamente alla colonna evvi un regolo Q, graduato a centimetri, che serve a misurare gli spazi percorsi dal corpo discendente. Questo regolo è munito di due *corsoi*, cioè di due pezzi mobili, che per mezzo di viti di pressione ponno essere collocati ove si vuole. Questi corsoi si veggono nella figura rappresentati nelle diverse posizioni da A, A′, B, C, B′ e C′. Uno di questi corsoi, che ha la forma d'un disco, arresta il moto del corpo M; l'altro porta un anello, che lascia passare questo corpo, ma trattiene un peso addizionale che si colloca su di esso, e che consiste in una piastra d'ottone più lunga del diametro dell'anello del corsoio.

La macchina d'Atwood serve a rallentare la velocità della caduta, e a far succedere, come più piaccia, un moto uniforme ad un moto accelerato.

Onde conoscere come questa macchina possa rallentare il moto, supponiamo che la piccola piastra d'ottone m, rappresentata nella figura da m, m', m'', cada sola, e chiamiamo g la sua velocità alla fine d'un minuto secondo: sarà mg (*) la sua quantità di moto (35). Se si colloca questa piastra m sulla massa M, essa non potrà cadere se non comunicando una parte della sua velocità alle masse M ed M′. Infatti, essendo le due masse M ed M′ in equilibrio, la gravità non produce in esse alcun effetto. Per conseguenza, la forza che faceva cadere il peso m, quand'era solo, è quella stessa che adesso fa muovere questo peso e le due masse M ed M′. La quantità di moto sarà dunque la stessa (35). Ora, detta x la velocità alla fine d'un minuto secondo, la quantità di moto sarà $(m + 2M)\,x$; eguagliandola a quella che acquista il peso m quando cade solo, si ha $(m + 2M)\,x = gm$; da cui si deduce $x = \frac{gm}{m + 2M}$. Se si suppone, per es., che ciascuna delle masse M ed M′ sia 16, ed 1 la massa m, si ha $x = \frac{g}{33}$; cioè che la velocità sarà 33 volte più piccola di quella che acquisterebbe il corpo cadendo liberamente nell'atmosfera. Tanto basta per seguire il corpo nella sua caduta e per rendere appena sensibile la resistenza dell'aria.

Conosciuti i diversi pezzi della macchina, passeremo all'esperienza, dimostrando anzi tutto che gli spazi percorsi crescono come i quadrati dei tempi. A tal fine, quando il pendolo P è in quiete e l'indice del quadrante non segna lo zero, si colloca il peso addizionale m sulla massa M, e questa, così caricata, si dispone sul piatto i mantenuto orizzontale dall'estremità della leva D, e corrispondente allo zero delle divisioni del regolo. Allora si fissa solamente il corsoio a piattello a una distanza tale dallo zero del regolo, che le due masse m ed M impieghino un minuto secondo a cadere da O in A. La caduta incomincia all'istante in cui l'indice arriva allo zero del quadrante, dopo che si è fatto oscillare il pendolo; poichè, in quell'istante, la leva D è respinta dall'eccentrico E, ed il piattello i cade.

Ammettiamo che siasi trovato, che l'altezza della caduta in un minuto secondo sia 7. Ricominciamo allora nello stesso modo l'esperienza, ma abbassando il corsoio, e collocandolo a una distanza O′A′ quattro volte maggiore di OA, vale a dire alla ventottesima divisione del regolo, si osserva che questo spazio è precisamente percorso in due minuti secondi dalle due masse m ed M. In egual modo si trova che un'altezza nove volte maggiore, cioè di 63 divisioni, è percorsa in 3 minuti

(*) Ritenendo indicata con m la massa della piastra d'ottone. *N. del T.*

secondi, e così di seguito: e in tal modo resta verificata la seconda legge.

Per verificare la terza, bisogna richiamare, che nel moto accelerato per velocità ad un dato istante s'intende quella del moto uniforme che succede al moto accelerato (34). Per conseguenza, onde constatare secondo qual legge varii la velocità di un corpo che cade, basta misurare la velocità del moto uniforme che sussegue al moto accelerato dopo uno, due, tre... minuti secondi di caduta.

Viene il moto uniforme sostituito al moto accelerato col mezzo del corsoio ad anello B. Perciò lo si colloca a una tale distanza, che le due masse m ed M riunite, impieghino, a cadere sino in B, un minuto secondo come nella prima esperienza: quindi, essendo la massa addizionale m arrestata dal corsoio B, e continuando la massa M a discendere sola, si fissa il corsoio a piattello in C, inferiormente a B, e ad una distanza conveniente perchè la massa M impieghi un minuto secondo a discendere da un corsoio all'altro. Ora da O'' in B il moto è uniformemente accelerato, e da B in C è uniforme: poichè, tolta la massa addizionale m, la gravità più non agisce da B in C, ed il moto continua soltanto per l'inerzia (34).

Cominciando allora di nuovo l'esperienza, si abbassa il corsoio ad anello B in B', a una distanza tale ché le due masse M ed m impieghino due secondi a cadere da O''' in B': quindi si fissa il secondo corsoio C' a una distanza dal primo doppia di quella che li separava dapprima, cioè doppia di BC. Ora, impiegando le due masse due minuti secondi a cadere, di moto uniformemente accelerato, dal punto O''' al punto B', si trova che la massa M percorre da sola, in un minuto secondo, l'intervallo B'C' che separa i due corsoi. Dunque la velocità acquistata alla fine di due minuti secondi, è il doppio di quella acquistata in un minuto secondo. Allo stesso modo si verifica, che questa velocità, dopo tre, quattro secondi, è tre, quattro volte maggiore.

53. **Formole relative alla caduta dei corpi.** — La terza legge della caduta dei corpi (52), si può rapppresentare mediante la formola $v = gt$; e la seconda mediante la formola $e = \frac{1}{2} gt^2$. Infatti, sieno, g la velocità acquistata alla fine d'un minuto secondo, da un corpo che cade nel vuoto, e v la velocità alla fine dopo t secondi; essendo le velocità proporzionali ai tempi, si ha $\frac{v}{g} = \frac{t}{1}$, da cui $v = gt$ ... [1].

Per ottenere la formola $e = \frac{1}{2} gt^2$, osserviamo che un corpo che cade per la durata di t secondi, di moto uniformemente accelerato, con una velocità iniziale nulla ed una finale $v = gt$, percorre necessariamente lo stesso spazio che percorrerebbe cadendo per la durata d'un tempo eguale, di moto uniforme, con una velocità media fra le due velocità 0 e gt, cioè colla velocità $\frac{1}{2} gt$, essendo la media fra due quantità la semisomma delle medesime. Ora in quest'ultimo caso, essendo il moto uniforme, lo spazio percorso è uguale al prodotto della velocità pel tempo (32); chiamando e questo spazio, si avrà $e = \frac{1}{2} gt \times t$, ossia $e = \frac{1}{2} gt^2$ ... [2].

Ponendo nella formola [2] $t = 1$, si ha $e = \frac{1}{2} g$; da cui $g = 2e$. Cioè *la velocità acquistata alla fine dell'unità di tempo è doppia dello spazio percorso nel medesimo tempo.*

Nella formola [1], la velocità v è espressa in funzione del tempo; ma si può esprimerla anche in funzione dello spazio percorso eliminando t dalle formole [1] e [2]. A tal uopo

si deduce dalla prima $t = \frac{v}{g}$, epperò $t^2 = \frac{v^2}{g^2}$. Ponendo questo valore di t^2 nella formola [2], si ha $e = \frac{1}{2} g \times \frac{v^2}{g^2}$, ossia $e = \frac{v^2}{2g}$, sopprimendo il fattor comune g. Moltiplicando per $2g$ i due membri di quest'equazione, si ha $v^2 = 2ge$; ed estraendo la radice $v = \sqrt{2ge}$... [3].

Quest' ultima formola dice che *la velocità ad un dato istante d'un corpo cadente nel vuoto è proporzionale alla radice quadrata dell'altezza da cui cade.*

Le formole $v = gt$ ed $e = \frac{1}{2} gt^2$, ottenute considerando la gravità come una forza acceleratrice e costante, e per conseguenza nel caso in cui il moto è accelerato, si possono risguardare come formole generali di questo genere di movimento. Tuttavia, essendo g l'incremento della velocità impressa in ogni minuto secondo dalla forza acceleratrice, il valore di g varia al variare dell'intensità della forza.

56. **Cause che modificano l'intensità della gravità.** — Tre cause fanno variare l'intensità della gravità, cioè, la distanza dal centro della terra, lo schiacciamento di questa ai poli e la forza centrifuga.

1.° Esercitandosi l'attrazione terrestre come se tutta la massa del globo fosse riunita al suo centro, ed agendo quest'attrazione in ragione inversa del quadrato della distanza (37 e 38), ne segue che l'intensità della gravità cresce o decresce, a norma che i corpi si avvicinano o si allontanano dalla terra. Però, questa variazione non è apparente nei fenomeni che si osservano alla superficie del nostro globo, perchè essendo il raggio medio della terra di 6 367 400 metri, l'intensità della gravità resta sensibilmente la medesima, quando un corpo s'innalza o si abbassa di alcune centinaia di metri. Ma per altezze di caduta più considerevoli, la gravità non può più essere ritenuta come una forza costante. È d'importanza dunque l'osservare che le leggi della caduta dei corpi enunciate al paragrafo 52 valgono soltanto pei corpi che cadono da una piccola altezza.

2.° L'intensità della gravità varia anche colla latitudine, per ragione dello schiacciamento della terra a' suoi poli; giacchè presso codesti punti, i corpi sono più vicini al centro dello sferoide terrestre, e per conseguenza maggiormente attratti.

3.° La terza causa, che modifica l'intensità della gravità, è la *forza centrifuga*. È così denominata una forza, prodotta dal moto curvilineo, in causa della quale le masse animate da questo moto tendono ad allontanarsi dall'asse di rotazione. In meccanica si dimostra che la forza centrifuga è proporzionale al quadrato della velocità di rotazione; d'onde risulta che, in uno stesso meridiano, questa forza cresce di mano in mano che ci avviciniamo all'equatore, dove è massima, perchè ivi è pur massima la velocità. Ai poli la forza centrifuga è nulla.

Sotto l'equatore, la forza centrifuga è direttamente opposta alla gravità, ed è uguale a $^1/_{289}$ della sua intensità. Ora, essendo 289 il quadrato di 17, ne segue che se il moto di rotazione della terra fosse 17 volte più rapido, la forza centrifuga, che è proporzionale al quadrato della velocità, sarebbe all'equatore 289 volte più intensa di quello che essa non sia, vale a dire eguale alla gravità, ed i corpi non sarebbero più pesanti. Se il moto di rotazione fosse ancor più rapido, essi verrebbero lanciati nello spazio per effetto della forza centrifuga.

Andando dall'equatore verso i poli, la gravità è gradatamente meno indebolita dalla forza centrifuga; primieramente perchè quest'ultima

forza decresce nel medesimo senso; secondariamente perchè sotto l'equatore essa è direttamente opposta alla gravità, laddove, avvicinandosi ai poli, la sua direzione si scosta vie maggiormente dalla verticale: locchè vien dimostrato dalla figura 27, nella quale PP′ rappresenta l'asse di rotazione della terra, ed EE′ l'equatore. In un punto qualunque E′ dell'equatore, la forza centrifuga è diretta secondo CE′, e tende tutta a diminuire l'intensità della gravità: ma in un punto a, più vicino al polo, essendo la forza centrifuga rappresentata da una retta ab perpendicolare all'asse PP′, mentre la gravità agisce secondo aC, si vede che la gravità non è più direttamente opposta alla forza centrifuga, ma solamente alla sua componente ad, che è tanto minore relativamente ad ab, quanto più vicino al polo trovasi il punto a.

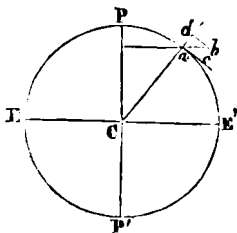



Fig. 27.

57. **Misura dell'intensità della gravità.** — Dietro quanto si disse, potendo la gravità, per uno stesso luogo e per altezze di cadute poco considerevoli, essere considerata come una forza acceleratrice costante, si prende per misura della sua intensità la velocità che essa imprime, in un minuto secondo, ai corpi che cadono nel vuoto (35), senza aver riguardo alla massa, giacchè nel vuoto tutti i corpi cadono colla stessa velocità (52).

Questa velocità viene generalmente rappresentata colla lettera g. Essa cresce dall'equatore al polo; a Parigi, secondo Borda e Cassini è è di 9m,8088; mentre all'equatore essa non è che di 9m,7800. In seguito vedremo come si possa, in ciascun luogo, determinarla per mezzo del pendolo (62).

Le variazioni d'intensità cui soggiace la gravità col variar della latitudine o dell'altitudine, modificano il peso assoluto dei corpi (41), ma non cangiano punto il loro peso relativo, vale a dire quello che dà la bilancia. In fatti, l'azione della gravità esercitandosi egualmente su tutte le sostanze, ne segue che l'aumento o la diminuzione di peso che risulta dalle variazioni di questa forza sono lo stesso, in ogni luogo, pei corpi da pesarsi e pei pesi metrici od altri di cui si fa uso. In breve, il numero di grammi che rappresenta il peso d'un corpo a Parigi, lo rappresenta eziandio al polo o all'equatore. Ciò che varia è il peso del gramma, che cresce o decresce proporzionalmente all'intensità della gravità.

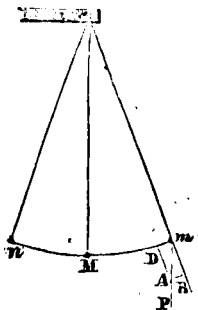
58. **Pendolo.** — Si distinguono due sorta di pendoli: il pendolo semplice, cioè, ed il composto. Il *pendolo semplice* o *pendolo ideale*, è quello che risulterebbe da un punto materiale pesante, sospeso mediante un filo inestensibile, senza massa e senza peso, ad un punto fisso, intorno al quale potrebbe liberamente *oscillare*, vale a dire prendere un movimento di va e vieni più o meno rapido. Questo pendolo non può realizzarsi; esso è puramente teorico, e serve solo a determinare col calcolo, le leggi delle oscillazioni del pendolo.

Chiamasi *pendolo composto* ogni corpo che può oscillare intorno ad un punto o ad un asse fisso. Quando il pendolo oscilla intorno ad un punto, questo prende il nome di *centro di sospensione;* quando invece oscilla intorno ad una retta orizzontale, questa retta è denominata *asse*

di sospensione. Il pendolo composto è il solo che si possa costruire. La sua forma può variare all'infinito: ma in generale esso consiste in una massa metallica, foggiata a guisa d'una lente o d'una sfera, sospesa ad un'asta mobile intorno ad un asse orizzontale; tali sono i bilancieri d'orologio; tale è il pendolo P rappresentato dalla figura 26.

I pendoli composti si sospendono o mediante un coltello analogo a quello della bilancia (fig. 18), o mediante una lama d'acciaio sottile e flessibile, che leggermente s'incurva ad ogni oscillazione (fig. 30).

Fig. 28.

Affine di studiare il movimento oscillatorio del pendolo, consideriamo dapprima un pendolo semplice *c*M, del quale M sia il punto materiale e *c* il centro di sospensione (fig. 28). Quando il punto M si trova inferiormente al punto *c*, sulla verticale passante per questo punto, l'azione della gravità è distrutta: ma se il punto M è trasportato in *m*, il suo peso P si decompone in due forze, l'una diretta secondo il prolungamento *m*B del filo, l'altra secondo la tangente *m*D all'arco *m*M*n*. La componente *m*B è distrutta dalla resistenza del punto *c*, mentre la componente *m*D sollecita il peso materiale a discendere da *m* in M. Giunto in questo punto, il pendolo non s'arresta, ma in virtù dell'inerzia trascorre avanti nella direzione M*n*.

Ora, se in un punto qualunque dell'arco M*n*, si ripete la costruzione che si è fatta nel punto *m*, si scorge che la gravità la quale da *m* in M agì come forza acceleratrice, da M in *n* agisce come forza ritardatrice. Essa toglie successivamente al mobile la velocità acquistata durante la discesa; dunque questa forza deve diminuire la velocità precisamente di quanto l'ha aumentata da *m* in M: dimodochè l'avrà interamente distrutta quando il pendolo sarà salito in *n*, al di sopra del punto M, ad un'altezza eguale a quella del punto *m*. Ritornando allora il pendolo da *n* verso M, si riproduce la medesima serie di fenomeni, ed il pendolo tende così ad oscillare continuamente, descrivendo archi eguali da una parte e dall'altra del punto M. Ma nelle esperienze, non avviene così, perchè esistono due cause che contribuiscono incessantemente a rallentare il moto od anche a distruggerlo: la prima è la resistenza del mezzo nel quale il pendolo si muove, la seconda è l'attrito che si sviluppa all'asse di sospensione.

59. **Leggi delle oscillazioni sul pendolo.** — Chiamasi *oscillazione* il passaggio del pendolo da una posizione estrema *m* all'altra posizione estrema *n*. L'arco *mn* dicesi *ampiezza* d'oscillazione, e la distanza del punto di sospensione *c* dal punto materiale M *lunghezza* del pendolo semplice.

Nella meccanica razionale si dimostra che le oscillazioni del pendolo semplice sono, nel vuoto, soggette alle quattro leggi seguenti:

1.ª *Per un medesimo pendolo le piccole oscillazioni sono isocrone:* vale a dire che esse avvengono assai sensibilmente in tempi eguali, qualora nella loro ampiezza non oltrapassino un certo limite, di 2 o 3 gradi. Il calcolo insegna che la resistenza dell'aria aumenta la durata delle oscillazioni, a motivo della perdita di peso che il pendolo subisce nell'aria (167), ma che l'isocronismo persiste tanto nell'aria che nel

vuoto; siccome però l'ampiezza va diminuendo, il pendolo finisce necessariamente coll'arrestarsi.

Galileo pel primo constatò l'isocronismo delle piccole oscillazioni del pendolo. È fama che facesse questa scoperta ancor giovane osservando le oscillazioni d'una lampada sospesa alla volta della cattedrale di Pisa.

2.ª *Per pendoli della stessa lunghezza, la durata delle oscillazioni è uguale, qualunque sia la materia da cui sono formati.* Ciò vuol dire che i pendoli semplici, il punto materiale dei quali fosse di sughero, di piombo, d'oro, eseguiscono lo stesso numero d'oscillazioni, nello stesso tempo, se hanno la medesima lunghezza.

3.ª *Per pendoli di differente lunghezza, la durata delle oscillazioni è proporzionale alla radice quadrata della lunghezza.* Il che significa che se la lunghezza d'un pendolo diventasse 4, 9, 16.... volte maggiore, la durata delle oscillazioni sarebbe solamente 2, 3, 4... volte maggiore.

4.ª *In diversi luoghi della terra, per pendoli della stessa lunghezza la durata delle oscillazioni è reciprocamente proporzionale alla radice quadrata dell'intensità della gravità.*

Queste leggi si deducono dalla formola $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, alla quale si giunge applicando il calcolo al movimento del pendolo semplice. In questa formola, t rappresenta la durata d'una oscillazione; l la lunghezza del pendolo; g l'intensità della gravità, ossia la velocità acquistata alla fine d'un minuto secondo, da un corpo che cade nel vuoto (37): π poi è una quantità costante che rappresenta il rapporto tra la circonferenza ed il diametro. Dalla geometria si sa che π è uguale a 3,141592.

Le due prime leggi si deducono immediatamente dalla formola $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$; imperciocchè, non contenendo questa formola nè l'ampiezza dell'oscillazione, nè la densità della materia, di cui è il pendolo formato, il valore di t è indipendente da queste due quantità.

Per dedurne la terza legge, consideriamo un secondo pendolo la cui lunghezza sia l' e la durata delle oscillazioni t'. Secondo la formola suesposta, si ha $t' = \pi \sqrt{\frac{l'}{g}}$. Ora queste due formole ponno scriversi sotto la forma

$$t = \pi \frac{\sqrt{l}}{\sqrt{g}}, \text{ e } t' = \pi \frac{\sqrt{l'}}{\sqrt{g}}.$$

Dividendo queste due equazioni membro per membro, e sopprimendo i fattori comuni π e $\sqrt{g}$, si ha $\frac{t}{t'} = \frac{\sqrt{l}}{\sqrt{l'}}$, formola che è l'espressione della terza legge suddetta.

E per la quarta legge, siano g e g' le intensità della gravità in due luoghi diversi, e t e t' le oscillazioni di uno stesso pendolo in questi due luoghi, si ha

$$t = \pi \frac{\sqrt{l}}{\sqrt{g}}, \text{ e } t' = \pi \frac{\sqrt{l}}{\sqrt{g'}}$$

Dividendo ancora membro per membro queste due equazioni, si trova $\frac{t}{t'} = \frac{\sqrt{g'}}{\sqrt{g}}$, formola che è l'espressione della quarta legge.

Finalmente innalzando al quadrato i due membri di quest'ultima equazione, si ha $\frac{g'}{g} = \frac{t^2}{t'^2}$; ciò che vuol dire che la quarta legge può anche enunciarsi dicendo che *per uno stesso pendolo, in due luoghi diversi, l'intensità della gravità è in ragione inversa del quadrato della durata delle oscillazioni.*

60. **Lunghezza del pendolo composto.** — Le leggi e la formola a cui accennammo, s'applicano anche al pendolo composto: ma in tal caso bisogna definire ciò che s'intende per *lunghezza* di questo pendolo. A tale intento, osserviamo che essendo qualsivoglia pendolo composto d'un'asta pesante terminata da una massa più o meno considerevole, i diversi punti materiali di questo sistema tendono, giusta la terza legge del pendolo, a compiere le loro oscillazioni in tempi tanto maggiori quanto più discosti sono dal punto di sospensione. Ora, essendo tutti questi punti tra loro invariabilmente legati, le loro oscillazioni avvengono necessariamente nello stesso tempo. Dal che emerge che il movimento dei punti più vicini all'asse di sospensione è ritardato, mentre quello dei punti più discosti è accelerato. Fra queste due posizioni estreme, esistono dunque dei punti, il movimento dei quali non viene nè ritardato nè accelerato, e che oscillano come se fossero indipendenti dal resto del sistema. Essendo questi punti equidistanti dall'asse di sospensione, determinano un *asse d'oscillazione* parallelo al primo. È appunto la distanza dell'asse di sospensione dall'asse d'oscillazione che chiamasi *lunghezza del pendolo composto*. Si dirà adunque che la *lunghezza d'un pendolo composto è quella d'un pendolo semplice che compie le sue oscillazioni nello stesso tempo.*

L'asse d'oscillazione ha la proprietà d'essere reciproco all'asse di sospensione: che equivale a dire che sospendendo il pendolo per l'asse d'oscillazione, la durata delle oscillazioni non cambia, locchè prova che la lunghezza non è cambiata. Questa proprietà, dimostrata per la prima volta da Huyghens, fisico olandese, fornisce il mezzo di trovare sperimentalmente la lunghezza del pendolo composto. A tal uopo, si capovolge il pendolo e lo si sospende, per mezzo d'un asse mobile, che si colloca, dopo alcuni tentativi, in modo che il numero delle oscillazioni, che si compiono in un dato tempo, sia eguale a quello delle oscillazioni avvenute nello stesso tempo prima del capovolgimento. Ottenuto ciò, la lunghezza cercata è la distanza del secondo asse di sospensione dal primo. Sostituendo allora nella formola del pendolo semplice in luogo di l il valore così ottenuto, si ha una formola che si può applicare al pendolo composto, e le leggi delle oscillazioni sono eguali a quelle del pendolo semplice.

La lunghezza del pendolo che *batte il secondo*, vale a dire che compie le sue oscillazioni in un minuto secondo, varia coll'intensità della gravità, ed è:

Sotto l'equatore	0m,991033
A Parigi	0 ,993866
Al polo	0 ,996671

61. **Verificazioni delle leggi del pendolo.** — Le leggi del pendolo semplice si ponno verificare soltanto col mezzo del pendolo composto, procurando di costruir quest'ultimo in modo che raggiunga possibilmente le condizioni del primo. A tale intento si sospende all'estremità d'un sottil filo una piccola sfera d'una materia molto densa, per es., di piombo o di platino. Il pendolo, così formato, oscilla sensibilmente come il pendolo semplice, la di cui lunghezza fosse eguale alla distanza dal centro della piccola sfera al punto di sospensione.

Per verificare la legge dell'isocronismo delle piccole oscillazioni, si fa oscillare il pendolo così costruito, si conta il numero d'oscillazioni ch'esso compie, in tempi eguali, quando l'ampiezza è successivamente di 3, 2 od 1 grado. Per tal modo si osserva che il numero d'oscillazioni è costante, e perciò anche la loro durata.

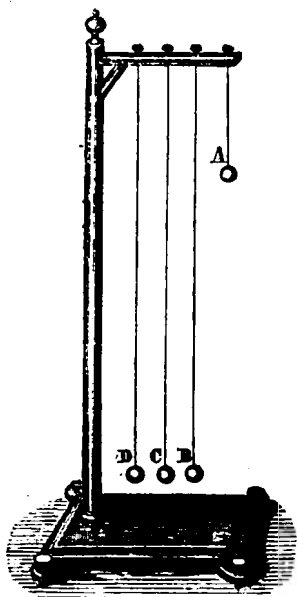



Fig. 29. (a = 1m, 55.)

Per dimostrare la seconda legge si prendono parecchi pendoli B, C, D (fig. 29), costruiti come superiormente si è detto, aventi tutti eguale lunghezza, e terminati da sfere d'egual diametro, ma di sostanze differenti, per es., di piombo, di ottone, di avorio. Si osserva che trascurando la resistenza dell'aria, tutti questi pendoli compiono nello stesso tempo lo stesso numero d'oscillazioni: d'onde si conchiude che la gravità agisce sopra tutte le sostanze colla stessa intensità; il che fu già constatato (52).

La terza legge si verifica facendo oscillare dei pendoli, le lunghezze dei quali siano rispettivamente 1, 4, 9,... e si trova che i numeri d'oscillazioni corrispondenti sono 1, $^1/_2$ $^1/_3$,... il che dimostra che le loro durate sono successivamente 1, 2, 3...

La quarta legge non può essere dimostrata che cambiando di luogo sulla superficie della terra per avvicinarsi od allontanarsi dall'equatore.

62. **Usi del pendolo.** — Il pendolo serve a constatare, come vedemmo nel paragrafo precedente, che la gravità sollecita tutti i corpi colla stessa intensità. Serve pure a determinare l'intensità della gravità nei diversi punti del nostro globo e per conseguenza la forma del medesimo. L'isocronismo delle sue oscillazioni suggerì l'idea di applicarlo, come regolatore, agli orologi. Finalmente in questi ultimi tempi il Foucault l'adoperò per dimostrare esperimentalmente il moto di rotazione diurna della terra.

Per misurare l'intensità della gravità (57) mediante il pendolo, si risolve l'equazione $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ (59), rispetto a g. Innalzando i due membri al quadrato, si trova $t^2 = \pi^2 \frac{l}{g}$. Moltiplicando per g e dividendo poscia per t^2, si ottiene $g = \frac{\pi^2 l}{t^2}$. Donde si vede che per conoscere g, bisogna misurare da prima la lunghezza l d'un pendolo composto (60), quindi misurare la durata t delle sue oscillazioni; locchè si ottiene cercando quante oscillazioni compie in un numero conosciuto di secondi, e dividendo quest'ultimo pel numero delle oscillazioni.

Fu appunto in tal modo che si determinò il valore di g in diversi punti del globo, e che Borda e Cassini hanno trovato che a Parigi esso è di 9m,8088. Ma tenendo conto di ciò che la perdita di peso d'un corpo nell'aria è più grande quando il corpo è in movimento che quando è in riposo, e facendo subire al movimento del pendolo la correzione che questa perdita ineguale di peso necessita, il Bessel, astronomo di Kœnisberga, ha trovato che a Parigi, il vero valore di g è di 9m,8096.

In seguito mediante il calcolo si dedusse dal valore di g in ciascun luogo, la distanza dal centro della terra, e per conseguenza la forma della medesima.

Huyghens pel primo applicò il pendolo come regolatore agli orologi nell'anno 1657, e la molla spirale agli orologi da tasca nell'anno 1665.

La figura 30 mostra il meccanismo col mezzo del quale il pendolo serve a regolare il moto degli orologi e dei pendoli di appartamento. La sua asta si impegna in una forchetta *a* destinata a trasmettere il movimento ad una seconda asta *b*, la quale oscilla intorno ad un asse orizzontale *o*. A questo asse è fissato un pezzo, chiamato *scappamento ad áncora*, a cagione della sua forma, e che termina alle sue estremità con due palette che imboccano alternativamente coi denti di una ruota R, detta *ruota di rincontro*. Questa ruota, sollecitata dal motore che mette in azione l'orologio, tende a prendere un moto di rotazione continuo nel senso indicato dalla freccia. Ora se il pendolo è in riposo, la ruota è arrestata dalla paletta *m*, e con essa è arrestato tutto il movimento dell'orologio. Invece se il pendolo oscilla e prende la posizione indicata dalla linea punteggiata, il dente che poggiava contro la paletta rimane libero e la ruota gira, ma di un mezzo dente soltanto; giacchè l'arco *mn* inclinando in senso contrario, la paletta *n* ritorna alla sua volta ad arrestare un dente. Poi all'oscillazione seguente questo dente rimane libero, e la paletta *m* arresta il dente che viene in seguito a quello che arrestava dapprima, e così di seguito; in modo che a ciascuna oscillazione doppia del pendolo, la ruota di rincontro si avanza di un dente. Ora le oscillazioni del pendolo essendo isocrone, la ruota di rincontro e il meccanismo dell'orologio, che ne dipende, si muovono e si arrestano ad intervalli eguali, e per conseguenza, indicano divisioni eguali di tempo.

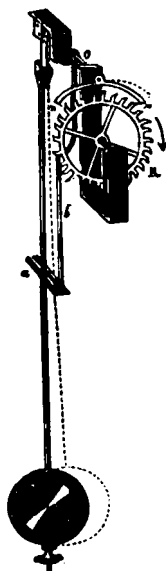



Fig. 30.

63. **Problemi sulla gravità**. — I. Quale sarà a Parigi, dopo 45 minuti secondi di caduta, la velocità di un corpo che cade liberamente nel vuoto?

Questo problema si risolve mediante la formola $v = gt$ (55), ponendovi $g = 9^m,8088$ (37) e $t = 45^s$; onde abbiamo

$$v = 9^m,8088 \times 45 = 441^m,396.$$

Sotto una latitudine diversa da quella di Parigi, non essendo più il valore di g $9^m,8088$, la velocità acquistata dal corpo che cade sarebbe maggiore o minore di $441^m,396$.

II. Quale deve essere la durata della caduta di un corpo nel vuoto, acciò acquisti a Parigi una velocità di 600 metri, che è quella d'una palla di cannone?

Dalla formola $v = gt$, si deduce $t = \frac{v}{g}$; e sostituendo in essa a g e v i loro valori dati, si ha

$$t = \frac{600}{9,8088} = 61^s,16.$$

III. Qual è il tempo necessario perchè un corpo cada nel vuoto da un'altezza di 1000 metri?

Dalla formola $e = \frac{1}{2} gt^2$ (55), si deduce $t = \sqrt{\frac{2e}{g}}, = \sqrt{\frac{2000}{9,8088}} = 14^s,28.$

IV. Da quale altezza dovrebbe cadere un corpo nel vuoto per acquistare una velocità di 300 metri?

La formola $v^2 = 2ge$ (55) dà $e = \frac{v^2}{2g}$, per cui $e = \frac{90000}{2.9,8088} = 4587^m,7.$

V. Qual è lo sforzo necessario per trascinare un peso di 2500 chilogrammi sovra un piano inclinato la di cui lunghezza AB (fig. 25) è uguale a 1000 metri, e l'altezza BC a 5 metri, supponendo nulla l'attrito?

Rappresentando con P il peso, e con F la forza cercata, vedemmo (53) che sussiste la relazione $\frac{F}{P} = \frac{BC}{AB}$, dalla quale si ha $F = \frac{P \times BC}{AB} = \frac{2500 \times 5}{1000} = 12^{ch},500$.

VI. Supposta di $245^m,22$ la velocità iniziale d'un proiettile lanciato nel vuoto verticalmente dal basso all'alto, si domanda dopo quanto tempo esso incomincierà a cadere ed a quale altezza s'innalzerà?

Sieno a la velocità iniziale impressa al mobile, e t il tempo che impiega a salire; siccome la gravità, agendo durante questo tempo qual forza ritardatrice, diminuisce la velocità a d'una quantità eguale a g in un minuto secondo, e d'una quantità gt alla fine di t secondi; così nell'istante in cui il corpo cessa di salire, sarà $gt = a$; quindi

$$t = \frac{a}{g} = \frac{245,22}{9,8088} = 25^s.$$

Onde avere l'altezza raggiunta dal mobile, osserviamo che la gravità durante la salita gli toglie gradatamente la velocità che gli comunicherebbe in tempo eguale se cadesse, e che però bisogna che il corpo impieghi nel raggiungere la sua massima altezza precisamente il tempo che impiegherebbe a discenderne. Quindi l'altezza a cui sale può aversi dalla formola $e = \frac{1}{2} gt^2$ (55), che dà

$$e = 4,9044 \times 625 = 3065^m,25.$$

CAPITOLO IV.

FORZE MOLECOLARI

64. Natura delle forze molecolari. — I fenomeni che i corpi presentano fanno conoscere che le loro molecole sono costantemente sollecitate da due forze contrarie, l'una delle quali tende ad avvicinarle, l'altra ad allontanarle. La prima, che dicesi *attrazione molecolare*, varia per uno stesso corpo soltanto colla distanza: la seconda, prodotta dal calorico, varia coll'intensità di questo agente e colla distanza. Dal reciproco rapporto di queste forze e dalla orientazione che le molecole da esse ricevono, risulta lo stato solido, liquido o gasoso (5).

L'attrazione molecolare agisce solamente a distanze infinitamente piccole. Il suo effetto è nullo a qualsivoglia distanza sensibile. Questo modo d'agire la distingue dalla gravità e dalla gravitazione universale, che manifestano la loro azione a tutte le distanze. Non si conosce ancora a quali leggi sia dessa assoggettata.

A seconda del modo, con cui la si considera, l'attrazione molecolare denominasi *coesione*, *affinità*, o *adesione*.

65. Coesione. — La *coesione* è la forza che unisce tra loro le molecole similari, cioè della stessa natura, come sarebbero due molecole d'acqua, o due molecole di ferro. Questa forza è minima nei gas, piccola nei liquidi e massima nei solidi. La sua intensità decresce quando la temperatura si eleva ed aumenta la forza ripulsiva dovuta al calorico. Questo è il motivo pel quale i corpi riscaldati talora si fanno liquidi o tal'altra passano anche allo stato aeriforme.

La coesione non varia solamente colla natura dei corpi, ma anche colla disposizione delle loro molecole, come accade nella cottura delle

argille, nella tempera dell'acciaio. Molte proprietà dei corpi, quali sarebbero la tenacità, la duttilità, la durezza, dipendono dalle modificazioni che subisce la coesione.

Nei liquidi, presi in grande massa, la gravità supera la coesione; dimodochè cedendo essi alla prima forza, non hanno veruna forma particolare, ed assumono sempre quella dei vasi che li contengono. Ma quando la loro massa è piccola, l'azione della coesione vince quella della gravità, ed essi prendono la forma sferoidale. Tanto avviene delle gocciole di rugiada sospese alle foglie delle piante, e di un liquido che non bagni la superficie sulla quale viene sparso, come avverebbe del mercurio versato sul legno. Lo stesso esperimento si può fare anche coll'acqua, spargendo sulla superficie una polvere leggera come il nero di fumo.

66. **Affinità.** — L'*affinità* è l'attrazione che si esercita tra due sostanze eterogenee: nell'acqua, per esempio, che è formata da due atomi di idrogeno ed uno di ossigeno, è l'affinità che unisce questi due corpi; ma è la coesione che lega due molecole di acqua. Il che vuol dire che nei corpi composti agiscono simultaneamente la coesione e l'affinità, mentre nei corpi semplici bisogna considerare soltanto la coesione.

Tutti i fenomeni di composizione e decomposizione chimica si denno riferire alla affinità.

Qualunque causa tendente a diminuire la coesione aumenta l'affinità. Infatti, quest'ultima forza è favorita dallo stato di divisione, non che dallo stato liquido o gazoso. Essa si sviluppa specialmente per lo *stato nascente*, cioè per lo stato in cui si trova un corpo, quando si svincola da una combinazione, ed è isolato e libero d'obbedire alla forza d'affinità anche la più debole. Finalmente l'affinità presenta effetti variabilissimi secondo l'innalzamento di temperatura. In vari casi il calorico favorisce le combinazioni coll'allontanare le molecole o col diminuire la coesione. Per es., il solfo e l'ossigeno alla temperatura ordinaria non sentono l'effetto dell'affinità: invece a una temperatura elevata questi corpi si combinano e danno origine ad un composto molto stabile, qual è l'acido solforoso. Per lo contrario in altri casi il calorico distrugge le combinazioni, comunicando ai loro elementi un'ineguale espansibilità. È in questo modo che molti ossidi metallici sono decomposti dall'azione del calorico.

67. **Adesione.** — Chiamasi *adesione* l'attrazione molecolare che si manifesta tra i corpi in contatto. Due pezzi di vetro da specchio, per es., l'uno all'altro sovrapposti, tanto aderiscono da lasciarsi piuttosto rompere che separare. Questa forza non solo agisce tra i solidi, ma anche tra i solidi e i liquidi, e tra i solidi e i gas.

L'adesione tra i solidi non è un effetto della pressione atmosferica, poichè la si osserva anche nel vuoto. Essa cresce al crescere della levigatezza delle superfici messe a contatto, e della durata del medesimo: infatti, la resistenza alla separazione è tanto maggiore quanto più a lungo fu prolungato il contatto. Finalmente la adesione tra i corpi solidi è indipendente dal loro spessore, il che dà a divedere che l'attrazione molecolare non si esercita che a piccolissime distanze.

I corpi solidi, immersi nell'acqua, nell'alcool e nella maggior parte dei liquidi si estraggono ricoperti d'un velo liquido, che l'adesione vi trattiene.

Fra i solidi ed i gas ha luogo la stessa adesione, che si produce fra i solidi ed i liquidi. Infatti se si immerge una lastra di vetro od una

lamina di metallo nell'acqua, si veggono comparire alla sua superficie delle bolle d'aria. Siccome, in questo caso, l'acqua non penetra nei pori della lastra o della lamina, queste bolle non potrebbero provenire dall'aria che ne verrebbe scacciata: dunque esse sono unicamente prodotte da uno strato d'aria che ricopriva la lastra o la lamina, e la *bagnava* a guisa d'un liquido.

Quanto prima, sotto i nomi di *capillarità*, d'*endosmosi*, d'*assorbimento* e d'*imbibizione* si farà conoscere una serie di fenomeni che hanno pure per causa l'attrazione molecolare.

CAPITOLO V.

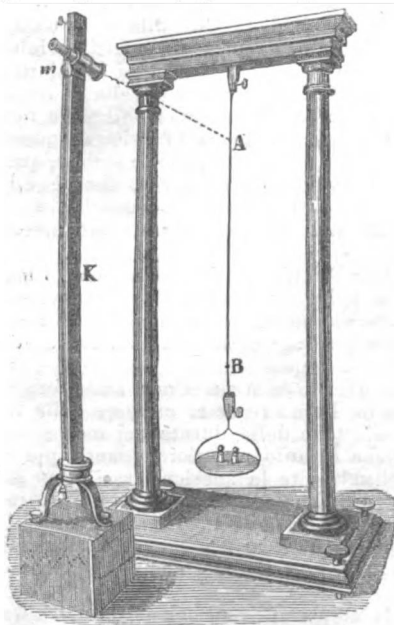
PROPRIETA' PARTICOLARI DEI SOLIDI

68. **Diverse proprietà particolari.** — Dopo d'aver esaminato le principali proprietà comuni ai solidi, ai liquidi ed ai gas, diremo delle principali proprietà particolari dei solidi. Queste proprietà sono: l'*elasticità di trazione*, l'*elasticità di torsione*, l'*elasticità di flessione*, la *tenacità*, la *duttilità* e la *durezza*.

69. **Elasticità di trazione.** — Trattammo già dell'elasticità come proprietà generale (19): ma si parlava solamente dell'elasticità sviluppata dalla pressione. Ora nei solidi l'elasticità può manifestarsi anche colla trazione, colla torsione e colla flessione.

Fig. 31.

Per istudiare le leggi dell'elasticità di trazione, Savart usò dell'apparato rappresentato dalla figura 31. Quest'apparato si compone d'un sostegno di legno al quale si sospendono le aste od i fili, che si vogliono esperimentare, si attacca alla loro estremità inferiore un piattello destinato a ricevere dei pesi, e sulla loro lunghezza si segnano due punti A e B, la distanza dei quali si misura esattamente col mezzo di un catetometro prima che il piattello sia carico.

Chiamasi *catetometro* un regolo di ottone K, diviso in millimetri e che può prendere una posizione verticale mediante un piede a viti di livello e un filo a piombo. Un cannocchiale, perfettamente in isquadra col regolo, può scorrere nel senso della sua lunghezza, e porta un verniero che offre il mezzo di misurare i cinquantesimi di

millimetro. Fissando successivamente questo cannocchiale dirimpetto ai punti A e B, come nella figura, si ottiene, sul regolo graduato, la distanza di questi due punti. Collocando quindi dei pesi nel bacino e misurando di nuovo la distanza dei punti A e B, si determina l'allungamento.

Finchè non si oltrepassa il limite di elasticità, la trazione delle aste e dei fili è soggetta alle tre leggi seguenti:

1.ª *Le aste ed i fili hanno un'elasticità perfetta, cioè riprendono esattamente la loro lunghezza primitiva appenachè cessi la trazione.*

2.ª *Per aste e per fili di una stessa sostanza e d'egual diametro, l'allungamento è proporzionale alla forza di trazione ed alla lunghezza.*

3.ª *Per aste o per fili d'ugual lunghezza e d'una medesima sostanza, ma d'ineguale grossezza, gli allungamenti sono inversamente proporzionali ai quadrati dei diametri.*

Il calcolo e l'esperienza dimostrano che quando i corpi si allungano per trazione, il loro volume aumenta.

Vertheim, il quale istituì numerose esperienze sulla elasticità dei metalli, verificò che l'elasticità decresce in modo continuo di mano in mano che la temperatura si innalza da — 15° a 200°; a questa regola fanno eccezione il ferro e l'acciaio, giacchè la loro elasticità aumenta fino a 100° e diminuisce in seguito. Lo stesso fisico trovò che in generale *tutte le cause che aumentano la densità, aumentano in pari tempo l'elasticità e viceversa.*

70. **Elasticità di torsione.** — Coulomb, fisico francese, morto nell'anno 1806, determinò le leggi della torsione dei fili. Questo scienziato nelle sue ricerche adoperò un apparato che si denomina *bilancia di torsione*, che si compone di un filo metallico, sottile, fissato per una morsetta nella sua parte superiore e teso da un peso alla sua estremità inferiore al quale è unito un ago orizzontale. Inferiormente avvi un cerchio graduato, il centro del quale trovasi sul prolungamento del filo, quando questo è verticale. Se si rimuove l'indice dalla sua posizione d'equilibrio, d'un certo angolo, che è l'*angolo di torsione*, la forza necessaria per ottenere quest'angolo è la *forza di torsione*. Dopo questa deviazione, le molecole, che erano disposte dapprima in linea retta, secondo la lunghezza del filo, sono situate secondo un'elica avvolta intorno a questo filo. Se non venne oltrepassato il limite d'elasticità, le molecole tendono a ripigliare la loro posizione primitiva, e vi ritornano effettivamente appenachè cessi la forza di torsione; ma non vi si trattengono. In virtù della velocità acquistata, esse oltrapassano questa posizione, dando origine a una torsione in senso contrario. Trovandosi di nuovo rotto l'equilibrio, il filo si storce ancora, e l'ago non si ferma allo zero del quadrante se non dopo un certo numero d'oscillazioni da una parte e dall'altra di questo punto.

Mediante l'apparato descritto, Coulomb constatò che quando l'ampiezza delle oscillazioni non oltrapassi un piccolo numero di gradi, queste oscillazioni sono soggette alle quattro seguenti leggi:

1.ª *Esse sono sensibilmente isocrone.*

2.ª *Per un medesimo filo, l'angolo di torsione è proporzionale alla forza di torsione.*

3.ª *Per una medesima forza di torsioni e per fili del medesimo diametro, l'angolo di torsione è proporzionale alla lunghezza dei fili.*

4.ª *Per una medesima forza e per fili della medesima lunghezza, l'an-*

golo di torsione è inversamente proporzionale alla quarta potenza dei diametri.

71. **Elasticità di inflessione.** — Tutti i solidi tagliati in lamine sottili, e fissati per una delle loro estremità, possono, dopo di essere stati più o meno incurvati, ritornare alla loro forma primitiva quando vengano abbandonati a sè stessi. Questa proprietà è sensibilissima nell'acciaio temperato, nella gomma elastica, nel legno e nella carta.

L'elasticità di inflessione trova numerose applicazioni negli archi, nelle balestre, nelle molle da orologio, nelle molle da carrozza, in alcuni apparati che servono a pesare, e nei dinamometri destinati a misurare la forza dei motori. L'elasticità dei crini, della lana e delle piume, è utilizzata nei materassi e nei cuscini comunemente adoperati.

Abbiamo già osservato che, qualunque sia la specie di elasticità che si considera, v'ha sempre un limite di elasticità, cioè uno spostamento molecolare, al di là del quale i corpi si spezzano, o per lo meno più non ripigliano la primitiva loro forma. Molte cause ponno far variare questo limite. Infatti si verifica che l'elasticità di molti metalli è aumentata dall'*incrudimento,* cioè dal ravvicinamento delle molecole, operato a freddo per mezzo del laminatoio, della filiera o del martello. Alcune sostanze, come l'acciaio, la ghisa, il vetro, divengono anche più elastiche e nello stesso tempo più dure per la *tempera* (75).

L'elasticità è al contrario diminuità dal *ricuocimento*, operazione che consiste nel portare il corpo ad una temperatura meno elevata che per la tempera, e lasciarlo in seguito raffreddare lentamente. È appunto mediante il ricuocimento che si dà alle molle quel grado d'elasticità che più piace. Siccome il vetro riscaldato subisce una vera tempera allorchè si raffredda troppo rapidamente, così, appunto per diminuire la fragilità degli oggetti di vetro appena fabbricati, si fanno ricuocere in un forno da cui vengono in seguito lentamente allontanati.

72. **Tenacità.** — La *tenacità* è la resistenza che i corpi oppongono alla trazione. Per valutare questa forza si dà ai corpi la forma di verghe cilindriche o prismatiche, e si sottopongono, nel senso della loro lunghezza, ad una trazione misurata in chilogrammi, e sufficiente a determinare la rottura.

La carica che produce la rottura è direttamente proporzionale alla sezione trasversale dei fili o dei prismi, e indipendente dalla loro lunghezza. Secondo numerose esperienze sui metalli, la forza necessaria per la rottura è presso a poco tripla di quella che corrisponde al limite di elasticità.

La tenacità diminuisce colla durata della trazione. Si verifica infatti che le verghe metalliche e parecchie altre, cedono, dopo un certo tempo, a pesi minori di quelli che sarebbero stati necessari per produrne immediatamente la rottura; in tutti i casi la resistenza alla trazione è minore della resistenza alla pressione.

La tenacità non varia solo da sostanza a sostanza; ma per una stessa materia, varia anche colla forma dei corpi. Per sezioni equivalenti, il prisma è meno resistente che il cilindro. Per una data quantità di materia il cilindro cavo è più resistente del cilindro pieno, ed il *massimo* grado di tenacità ha luogo quando il raggio esterno sta al raggio interno nel rapporto di 11 a 5.

Per uno stesso corpo, la forma ha la medesima influenza sulla resistenza allo schiacciamento, che sulla resistenza alla trazione. Infatti, a

parità di massa e di altezza, un cilindro cavo, è più resistente di un cilindro pieno; dal che risulta che le ossa degli animali, le penne degli uccelli, i fusti delle graminacee e di un gran numero di piante, oppongono, a parità di massa, maggior resistenza che se fossero massiccie.

Finalmente la tenacità come l'elasticità, varia per uno stesso corpo, variando la direzione che si considera. Nei legni, per es., la tenacità e l'elasticità sono maggiori nel senso delle fibre che in quello trasversale. Questa differenza si osserva in generale in tutti i corpi, la di cui tessitura non è la stessa in tutte le direzioni.

Pesi in chilogrammi, per millimetro quadrato, che determinano la rottura.

Piombo fuso	2,21	Ferro in fili	63,80
» trafilato	2,36	» ricotto	50,25
Stagno fuso	4,16	Acciaio fuso in fili	83,80
» in fili	3,—	Antimonio fuso	0,67
Oro filato	28,—	Bismuto fuso	0,97
» ricotto	11,—		
Argento in fili	29,—	*Legni nel senso delle fibre.*	
» ricotto	16,40		
Zinco in fili	15,77	Bosso	14,—
» ricotto	14,40	Frassino	12,—
Rame in fili	41,—	Abete	9,—
» ricotto	31,60	Faggio	8,—
Platino in fili	35,—	Quercia	7,—
» ricotto	26,75	Acaione	5,—

In questa tavola si suppone che i corpi sieno alla temperatura ordinaria: ma ad una temperatura più elevata, la tenacità decresce rapidamente. Seguin, il seniore, che fece recentemente delle ricerche per questo oggetto sul ferro e sul rame, trovò le tenacità seguenti in chilogrammi per millimetro quadrato:

	Ferro.	Rame.
A 10 gradi	60 chil.	21,— chil.
370 »	54 »	7, 7 »
500 »	35 »	— — »

73. Duttilità. — Chiamasi *duttilità* la proprietà che hanno molti corpi di cambiar di forma per l'effetto di pressioni o di trazioni più o meno considerevoli.

Per certi corpi, come sarebbero l'argilla, la cera, piccoli sforzi bastano per produrre una deformazione; per altri invece, come il vetro, le resine, è necessario che vi concorra anche l'azione del calorico: pei metalli si richieggono sforzi potenti, come la percussione, la filiera, il laminatoio.

La duttilità riceve il nome di *malleabilità*, quando si produce sotto il martello. Il metallo più malleabile è il piombo, il più duttile al laminatoio è l'oro, alla filiera il platino.

Wollaston, in causa della somma duttilità del platino, potè ottenere dei fili di questo metallo del diametro di $^1/_{1200}$ di millimetro. Onde giungere a questo risultato, egli ricopriva d'argento un filo di platino

del diametro di 1/4 di millimetro, in modo di ottenere un cilindro della grossezza di 5 millimetri, la parte centrale del quale fosse di platino. Passando questo cilindro alla filiera, finchè si assottigliasse quant'era possibile, i due metalli si allungavano egualmente. Facendo allora bollire il filo nell'acido azotico, l'argento si scioglieva, e rimaneva solo il filo di platino: 1000 metri di questo filo pesavano solamente 5 centigrammi.

74. **Durezza.** — La *durezza* è la resistenza che offrono i corpi ad essere intaccati o lisciati da altri corpi.

Questa proprietà è soltanto relativa, perchè un corpo, duro rispetto a una sostanza, è molle rispetto ad un'altra. Si distingue la durezza relativa di due corpi cercando quello che scalfisce l'altro senza esserne scalfitto. In tal modo si constatò che il più duro di tutti i corpi è il diamante, poichè li intacca tutti, senza essere intaccato da nessuno. Al diamante tengono dietro lo zaffiro, il rubino, il cristallo di rocca, le silici, i grès, ecc. I metalli allo stato di purezza sono piuttosto molli.

Le leghe sono più dure dei metalli che le compongono. Ed è appunto per aumentare la durezza dell'oro e dell'argento che si usano nell'oreficeria e nella fabbricazione delle monete che si allegano col rame.

La durezza di un corpo non è in rapporto colla sua resistenza alla pressione, Il vetro, il diamante, sono assai più duri del legno, e tuttavia resistono molto meno ai colpi del martello.

Abbiamo una applicazione della durezza dei corpi nelle polveri che servono a pulire, quali sono lo smeriglio, il pomice, il tripoli. Il diamante, essendo il più duro di tutti i corpi, non si può lavorare che mediante la propria polvere.

75. **Tempera.** — La *tempera* è il rapido raffreddamento di un corpo portato ad un'elevata temperatura. Mediante questa operazione, l'acciaio e la ghisa acquistano una grande durezza, ed è specialmente a questo scopo che si adopera la tempera. Tutti gli strumenti taglienti sono in acciaio temperato. Vi sono però dei corpi sui quali la tempera produce un effetto del tutto contrario. La lega dei *tamtam*, la quale è composta di una parte di stagno e di quattro parti di rame, divien duttile e malleabile quando sia raffreddata istantaneamente; ed al contrario, è dura e fragile come il vetro quando sia raffreddata lentamente.

LIBRO III.

DEI LIQUIDI

CAPITOLO PRIMO

IDROSTATICA

76. Oggetto dell'idrostatica. — L'*idrostatica* è la scienza che ha per oggetto lo studio delle condizioni di equilibrio dei liquidi e quello delle pressioni che essi trasmettono, sia alla loro massa, sia alle pareti dei vasi che li contengono.

La scienza che tratta del movimento dei liquidi chiamasi *idrodinamica*, e l'applicazione dei suoi principii all'arte di condurre ed innalzare le acque si distingue specialmente col nome di *idraulica*. Noi non tratteremo qui che dell'idrostatica.

77. Caratteri generali dei liquidi. — Abbiamo già veduto (5) che i liquidi sono corpi le di cui molecole, a cagione di una somma mobilità, cedono al più leggero sforzo che tenda a spostarle; da cui risulta che questi corpi non affettano alcuna forma stabile e che obbediscono sempre all'azione della gravità, onde prendono immediatamente la forma dei vasi nei quali si versano. La loro fluidità tuttavia non è perfetta; esiste sempre fra le loro molecole un'aderenza che produce una viscosità più o meno grande. Questa vischiosità varia però da un liquido ad un altro; quasi nulla in alcuni liquidi, come l'etere, l'alcool, si mostra distintissima nell'*acido* solforico, negli oli grassi e nei liquidi fortemente zuccherati o gommati.

La fluidità dei liquidi si ritrova, ma ad un grado più elevato, nei gas; ciò che distingue queste due specie di corpi si è che i liquidi sono dotati di una compressibilità e di una elasticità appena sensibile, mentre invece i fluidi aeriformi sono eminentemente compressibili ed espansivi.

La fluidità dei liquidi si manifesta per la facilità colla quale questi corpi prendono qualunque sorta di forma; la loro poca compressibilità si può constatare mediante la seguente esperienza.

78. Compressibilità dei liquidi. — Dopo l'esperimento degli accademici di Firenze più sopra riferito (15), per lungo tempo si riguardarono i liquidi come completamente incompressibili. Si fecero in seguito delle indagini sul medesimo soggetto, in Inghilterra, da Canton, nel 1761, e

da Perkins nel 1819; a Copenaghen, da Œrsted, nel 1823; da Colladon e Sturm, a Ginevra, nel 1827; da Regnault, nel 1847, e finalmente da Grassi; e si verificò in questi diversi esperimenti che i liquidi sono tutti più o meno compressibili.

Gli apparati destinati a misurare la compressibilità dei liquidi ricevettero il nome di *piezometri*. Noi qui descriveremo quello di Œrsted colle modificazioni fattevi da Despretz e Saigey. Esso si compone di un cilindro di cristallo a pareti assai grosse, di un diametro da 8 a 9 centimetri (fig. 32). Questo cilindro, riempito completamente d'acqua, è chiuso, alla sua base, da un piede di legno, al quale è solidamente unito con mastice, ed alla sua parte superiore si adatta in un pezzo cilindrico di ottone chiuso da un coperchio a vite. Questo coperchio porta un imbuto R destinato ad introdurre l'acqua nel cilindro, ed un piccolo corpo di tromba, nel quale avvi uno stantuffo a tenuta d'aria, che si fa avanzare mediante una vite di pressione P.

Fig. 32 (a. = 64)

Nell'interno dell'apparato è collocato un serbatoio di vetro A, riempito del liquido che si vuol comprimere e terminato alla sua parte superiore da un tubo capillare ricurvo, che viene ad immergersi in un bagno di mercurio O. Questo tubo è stato prima diviso in n parti di egual capacità, e venne determinato il numero N di queste parti contenute nel serbatoio A. Perciò siano p il peso del mercurio a zero contenuto nelle n divisioni del tubo capillare, e P il peso dello stesso liquido contenuto nel serbatoio A alla stessa temperatura; si ha l'equazione $\frac{N}{n} = \frac{P}{p}$, da cui $N = \frac{Pn}{p}$.

Finalmente nell'interno del cilindro vi è un *manometro ad aria compressa*. Chiamasi così un tubo di vetro B, pieno d'aria; l'estremità superiore del quale è chiusa, e la inferiore, che è aperta, si immerge nel bagno di mercurio O. Allorchè non si esercita alcuna pressione sull'acqua che riempie il cilindro, il tubo B è completamente pieno d'aria; ma se mediante la vite P e lo stantuffo, si comprime l'acqua del cilindro, la pressione si trasmette al mercurio, il quale si innalza nel tubo B comprimendo l'aria che vi si trova. Una scala graduata C, collocata lungo questo tubo, indica la riduzione di volume dell'aria, e da questa riduzione di volume si misura la pressione esercitata sul liquido contenuto nel cilindro, come dimostreremo trattando dei manometri (158).

Ciò posto, per esperimentare col piezometro, si incomincia dal riempire il serbatoio A del liquido che si vuol comprimere; poi mediante l'imbuto R si riempie d'acqua il cilindro. Girando allora la vite P in modo da far discendere lo stantuffo, si esercita una pressione sull'acqua e sul mercurio che trovansi nell'apparato, e, per effetto di questa pres-

sione, il mercurio s'innalza non solo nel tubo B, ma anche nel tubo capillare unito al serbatoio A, come lo mostra il disegno. Questo innalzamento del mercurio nel tubo capillare indica che il liquido chiuso nel serbatoio è diminuito di volume, e dà anche la misura di questa diminuzione; poichè se si rappresenta con n' il numero di divisioni nelle quali il mercurio si è innalzato nel tubo capillare, e con F la pressione in atmosfere (156) segnata dal manometro, $\frac{n'}{N+n}$ è evidentemente la contrazione per l'unità di volume, e $\frac{n'}{(N+n)F}$ la contrazione per l'unità di volume e l'unità di pressione, cioè il *coefficiente di compressibilità*. Tuttavia questa non è che la compressibilità *apparente*. Infatti Œrsted, nelle sue esperienze, suppose che la capacità del serbatoio A restasse invariabile, essendo le sue pareti compresse tanto internamente che esternamente dal liquido (79). Ma l'analisi matematica prova che questo volume diminuisce per effetto della pressione interna ed esterna. Gli esperimenti di Colladon e Sturm furono fatti tenendo conto di questo cambiamento di capacità. Questi scienziati hanno in tal guisa constatato, per una pressione eguale al peso dell' atmosfera ed alla temperatura zero, i coefficienti di compressibilità assoluta seguenti:

Mercurio	5	milionesimi.
Acqua distillata non priva d'aria . .	49	—
Acqua distillata priva d'aria . . .	51	—
Etere solforico	133	—

Inoltre hanno osservato che, fra certi limiti, la diminuzione del volume dell'acqua e del mercurio è proporzionale alla pressione.

Qualunque sia la compressione alla quale si è sottoposto un liquido, l'esperienza dimostra che appena l'eccesso di pressione cessa, il liquido ritorna esattamente al suo primitivo volume; da ciò si conchiude che i *liquidi sono perfettamente elastici*.

79. **Principio dell' eguaglianza di pressione, o principio di Pascal.** — Ritenendo i liquidi come incompressibili, dotati d'una perfetta fluidità e supponendoli privi di peso, si giunse al principio seguente, conosciuto sotto il nome di *principio di eguaglianza di pressione*, ed anche sotto quello di *principio di Pascal*, perchè è stato annunciato per la prima volta dal celebre scrittore e geometra Biagio Pascal:

Una pressione esercitata su una superficie piana qualunque di un liquido si trasmette in tutti i sensi, colla stessa intensità, su ogni superficie uguale a quella che riceve la pressione.

Per interpretare questo cnnunciato, immaginisi un vaso di qualsiasi forma riempito di acqua o di altro liquido che noi supporremo senza peso, e siano sulle pareti di questo vaso, diverse tubulature cilindriche A, B, C,... chiuse da stantuffi mobili (fig. 33). Se sullo stantuffo superiore A si esercita dall'esterno all'interno una pressione qualunque, per es. di 20 chilogrammi, questa pressione si trasmette istantaneamente sulla faccia interna degli stantuffi B, C,... che tutti vengono spinti dall'interno all'esterno da una pressione 20, se la loro superficie uguaglia quella del primo stantuffo; ma per superficie due, tre volte maggiori la pressione trasmessa è 40 o 60 chilogrammi, vale a dire che non so-

lamente la pressione si trasmette egualmente in tutti i sensi, ma essa è *proporzionale alla superficie che la riceve*. Tale è la doppia significazione che bisogna dare al principio suesposto, il quale serve di base a tutta l'idrostatica.

Il principio dell'eguaglianza di pressione è generalmente ammesso come una conseguenza della costituzione dei liquidi. Mediante però l'espe-

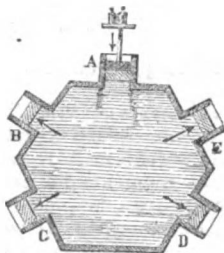
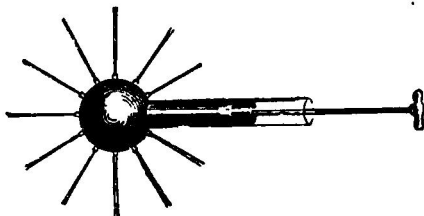



Fig. 33. Fig. 34.

rienza seguente si può dimostrare che la pressione si trasmette, in fatti, in tutti i sensi. Un tubo, nel quale si muove uno stantuffo (fig. 34) è terminato da una sfera vuota, sulla quale sono collocati dei piccoli cilindri perpendicolari alla sua superficie. Riempiti d'acqua il cilindro e la sfera, si spinge lo stantuffo, e il liquido zampilla da tutti gli orifizi, e non solo da quello che è opposto allo stantuffo.

Quanto alla proporzionalità delle pressioni alle superficie, non si può darne una dimostrazione sperimentale rigorosa, a cagione dell'influenza del peso dei liquidi e dell'attrito degli stantuffi. Tuttavia si giunge ad una verificazione approssimativa coll'esperienza rappresentata dalla fig. 35.

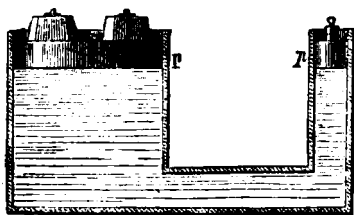



Fig. 35.

Due cilindri di ineguale diametro, comunicanti per mezzo di una tubulatura sono riempiuti di acqua, e sulle superficie del liquido riposano due stantuffi P e *p*, che chiudono ermeticamente i cilindri, ma che possono muoversi in questi a sfregamento dolce. Finalmente supponiamo che la superficie dello stantuffo maggiore sia eguale, per esempio, a trenta volte quella del minore. Ciò posto, se su quest'ultimo si pone un peso qualunque, ad esempio 2 chilogrammi, immediatamente la pressione risultante si trasmette all'acqua e allo stantuffo maggiore, e poichè questa pressione è di 2 chilogrammi *su ciascuna porzione di superficie eguale a quella del piccolo stantuffo*, ne consegue che il maggiore deve sopportare dal basso all'alto una spinta di 30 volte 2, ossia di 60 chilogrammi. Infatti se si carica lo stantuffo maggiore di quest'ultimo peso, si osserva che l'equilibrio persiste; ma per una carica sensibilmente maggiore o minore, l'equilibrio sarebbe distrutto. Rappresentando con

S e con s le superficie del grande e del piccolo stantuffo si può dunque porre $\frac{P}{p} = \frac{S}{s}$, da cui $P = \frac{pS}{s}$.

In tutto quanto segue sulle pressioni trasmesse dai liquidi alle pareti dei vasi che li contengono, importa di osservare che queste pressioni dovranno sempre essere supposte *perpendicolari a queste pareti*. Infatti qualunque pressione obbliqua può essere decomposta in due altre (29), l'una perpendicolare alla parete e l'altra diretta nel suo piano; ora quest'ultima essendo senza effetto sulla parete, è solamente la pressione perpendicolare che si ha da considerare.

Ed anche è da osservarsi che tutto ciò che è stato detto del principio di Pascal non si applica solamente alle pareti dei vasi, ma all'. molecole in un punto qualunque della massa.

PRESSIONI PRODOTTE NEI LIQUIDI DALLA GRAVITA'

80. **Pressione verticale dall'alto al basso; sue leggi.** — Se un liquido qualunque, che giace in quiete in un vaso, vien supposto diviso in istrati orizzontali d'eguale spessore, è evidente che ciascuno di questi strati sostiene il peso di quelli che gli sovrastanno. L'azione della gravità, adunque, sviluppa nella massa liquida delle pressioni interne variabili da un punto all'altro. Queste pressioni sono soggette alle seguenti leggi generali:

1.ª *La pressione sopra ogni strato è proporzionale alla profondità.*

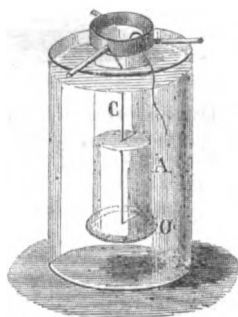
2.ª *Per liquidi diversi, la pressione che soffrono gli strati di egual profondità è proporzionale alla densità del liquido.*

3.ª *La pressione è eguale su tutti i punti di un medesimo strato orizzontale.*

Le due prime leggi si ponno ammettere come evidenti; la terza è una conseguenza della prima.

81. **Pressione verticale dal basso all'alto.** — La pressione che gli strati superiori di un liquido esercitano sugli strati inferiori, fa nascere in questi dal basso all'alto una reazione eguale e contraria, che è una conseguenza del principio della trasmissione di pressione in tutti i sensi. Questa pressione dal basso all'alto è conosciuta sotto il nome di *spinta dei liquidi*. Essa è sensibilissima allorchè si immerge la mano in un liquido, principalmente se è di una grande densità, come il mercurio.

Fig. 36 (a.= 20).

Per constatarla, mediante l'esperienza, si fa uso di un tubo di vetro A aperto alle due estremità (fig. 36). Dopo di avere applicato contro l'estremità inferiore, un disco di vetro O, che serve di otturatore, e che da principio si sostiene mediante un filo C, che gli è fissato, si immerge il tutto nell'acqua, quindi si abbandona il filo a sè stesso. L'otturatore rimane allora applicato contro il tubo; dal che siamo già avvertiti che esso sopporta dal basso all'alto una pressione superiore al suo peso. Finalmente se si versa lentamente dell'acqua nel tubo, il disco sostiene il peso di questo liquido

e non cade se non al momento in cui l'acqua che si trova nel tubo, e quella esterna sono sensibilmente allo stesso livello. Questo dimostra che la pressione dal basso all'alto, che si esercita sul disco, è uguale al peso di una colonna d'acqua avente per base la sezione interna del tubo A, e per altezza la distanza verticale del disco dalla superficie superiore del liquido nel quale il tubo è immerso. Da ciò si conchiude che *la spinta dei liquidi, in un punto qualunque della loro massa, è sottoposta alle tre leggi medesime cui è sottoposta la pressione verticale dall'alto al basso* (80).

82. **La pressione è indipendente dalla forma dei vasi.** — La pressione esercitata da un liquido, in forza del suo peso, sopra un punto qualunque della sua massa, o sulle pareti del vaso che lo contengono, dipende, come abbiam veduto (80), dalla profondità e dalla densità del liquido, ma *essa è indipendente dalla forma del vaso e dalla quantità di liquido.*

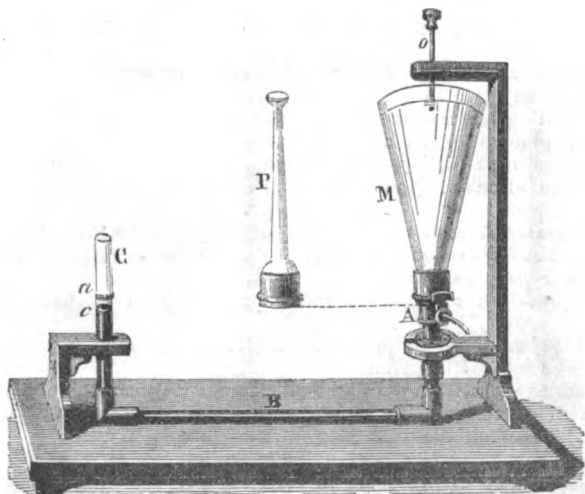



Fig. 37 (a. = 72).

Questo principio, che è una conseguenza del principio dell'eguaglianza di pressione, può dimostrarsi sperimentalmente con molti apparecchi; noi ne descriveremo qui due egualmente in uso nei corsi di fisica: quello di Haldat (fig. 37) e quello che era stato proposto da Pascal, rappresentato dalla figura 38 come è stato modificato da Masson.

L'apparecchio di Haldat si compone di un tubo a gomito ABC, terminato in A da un robinetto di ottone, al quale si ponno unire a vite successivamente due vasi M e P della stessa altezza, ma di forma e capacità differenti, cioè il primo conico ed il secondo quasi cilindrico. Per fare l'esperienza, si incomincia col versare del mercurio nel tubo ABC, in modo che il suo livello giunga quasi al robinetto A. Allora si unisce a vite col tubo il vaso M, che si riempie d'acqua: questa pel suo peso preme il mercurio, e lo fa innalzare nel tubo C, ove si segna il suo livello mediante la viera *a*, che può scorrere lungo il tubo. Si

segna anche il livello dell'acqua nel vaso M per mezzo di un'asta mobile *o* postavi superiormente. Ciò fatto si vuota il vaso M mediante il robinetto, lo si toglie, e gli si sostituisce il vaso P. Versando l'acqua in quest'ultimo, si scorge il mercurio, che aveva ripreso il suo livello primitivo nei due rami del tubo ABC, innalzarsi di nuovo nel tubo C, ed al momento in cui l'acqua raggiunge nel vaso P un'altezza eguale a quella che aveva nel vaso M, il che si riconosce mediante l'asta *o*, il mercurio giunge nel tubo C ad un livello eguale a quello che aveva nel primo caso, il che è indicato dalla viera *a*. Dal che si conchiude che in ambedue i casi la pressione trasmessa al mercurio nella direzione ABC è la stessa. Questa pressione è adunque indipendente dalla forma del vaso e per conseguenza dalla quantità del liquido. Il fondo del vaso poi in ambedue i casi è evidentemente lo stesso, cioè la superficie del mercurio nell'interno del tubo A.

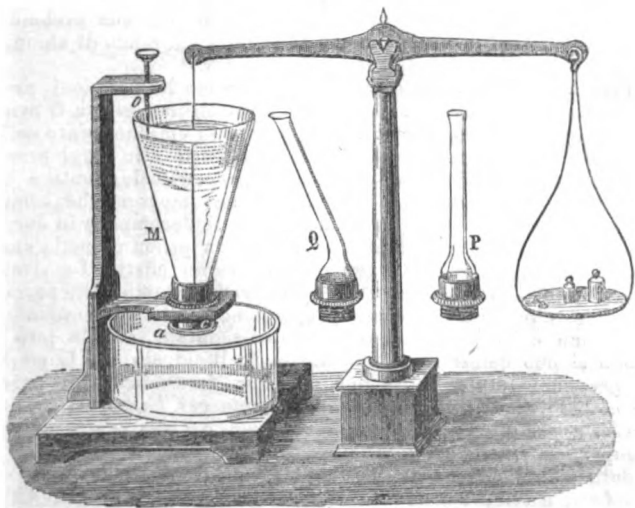



Fig. 38.

Nell'apparecchio di Masson (fig. 38), la pressione dell'acqua contenuta nel vaso M non si esercita più su una colonna di mercurio, come in quello di Haldat, ma su di un piccolo disco od otturatore *a*, che chiude una tubulatura *c* sulla quale è avvitato il vaso M. Questo disco non è fisso alla tubulatura, ma è soltanto sostenuto da un filo attaccato all'estremità del giogo di una bilancia. All'altra estremità di questo giogo si trova sospeso un bacino nel quale si mettono dei pesi fino a che si stabilisce l'equilibrio colla pressione esercitata dall'acqua sull'otturatore. Votando allora il vaso M, lo si svita e gli si sostituisce il tubo stretto P; se si riempie quest'ultimo di acqua fino all'altezza che raggiungeva nel vaso maggiore, ciò che si riconosce dall'asta *o*, si osserva che per sostenere l'otturatore, abbisogna mettere nel piatto appunto lo stesso peso di prima, ciò che conduce alla stessa conclusione

che conduce l'esperienza di Haldat, si ottiene lo stesso risultato, se invece del tubo verticale P, si avvita sulla tubulatura *o* il tubo obbliquo Q.

Risulta dalle due esperienze precedenti che si ponno produrre delle pressioni considerevoli con una piccolissima quantità di liquido. A tale intento basta fissare alla parete d'un vaso chiuso o pieno d'acqua, un tubo d'un piccolo diametro e d'una grande altezza. Riempito questo tubo d'acqua la pressione trasmessa sulle pareti del vaso è uguale al peso di una colonna d'acqua avente per base queste pareti, e per altezza l'altezza del tubo. Pertanto si può renderla grande come si vuole. Pascal, mediante un semplice filo d'acqua di 10 metri d'altezza, giunse così a far iscoppiare una botte saldamente costrutta.

Giusta questo principio, si ponno calcolare facilmente le pressioni che si producono sul fondo dei mari. Infatti si dimostrerà quanto prima che la pressione atmosferica è uguale a quella d'una colonna d'acqua dell'altezza di 10 metri. Ora i navigatori hanno spesso osservato, che lo scandaglio non raggiungeva il fondo dei mari a una profondità di 4000 metri: dunque la pressione che si esercita sul fondo di alcuni mari è più di 400 volte quella dell'atmosfera.

83. **Pressioni laterali sulle pareti.** — Siccome le pressioni prodotte dalla gravità nella massa dei liquidi si trasmettono, giusta il principio di Pascal, in tutti i sensi, così ne segue che in ciascun punto delle pareti laterali, hanno luogo delle pressioni soggette alle leggi precedentemente enunciate (80), ed agenti sempre perpendicolarmente a queste pareti, qualunque sia la forma delle medesime; imperciocchè, come si è veduto ogni pressione obbliqua a una parete si decompone in due, l'una perpendicolare alla parete, l'altra parallela; la prima è quella che produce la pressione, la seconda non produce verun effetto. La risultante di tutte queste pressioni rappresenta la pressione totale sulle pareti; ma siccome queste pressioni crescono proporzionalmente alla profondità ed all'estensione della parete in direzione orizzontale, così la loro risultante non si può determinare che mediante il calcolo, che fa conoscere che la pressione totale, sopra una porzione determinata di parete, è *uguale al peso di una colonna liquida avente per base questa porzione di parete, e per altezza la distanza verticale del suo centro di gravità dalla superficie libera del liquido.*

Il punto d'applicazione di questa pressione totale, denominato *centro di pressione,* è sempre alquanto al disotto del centro di gravità della parete. Infatti, se le pressioni esercitate sui diversi punti della parete fossero tra loro eguali, è evidente che il punto d'applicazione della loro risultante, cioè il centro di pressione, coinciderebbe col centro di gravità di questa parete: ma siccome queste pressioni crescono colla profondità, il centro di pressione si trova necessariamente al disotto del centro di gravità. La posizione di questo punto si determina col calcolo, che dà i seguenti risultati: 1.° sovra una parete rettangolare, avente il lembo superiore a fior d'acqua, il centro di pressione è situato a $^2/_3$ della retta che unisce i punti di mezzo dei lati orizzontali, partendo dalla superficie libera dell'acqua; 2.° sopra una parete triangolare, avente la base a fior d'acqua, il centro di pressione trovasi nel punto di mezzo della retta che unisce il vertice del triangolo col punto di mezzo della base; 3.° sovra una parete, pure triangolare, ma avente il vertice a fior d'acqua e la base orizzontale, il centro di pressione è sulla retta che unisce il punto di mezzo di questa base col vertice, ed a $^3/_4$ partendo da questo punto.

84. Arganetto idraulico — Quando un liquido è in equilibrio in un vaso, hanno luogo sulle pareti opposte, secondo ogni strato orizzontale, delle pressioni a due a due uguali e contrarie che si distruggono, in modo che non ci accorgiamo dell'esistenza di queste pressioni. Si ponno però constatare mediante l'*arganetto idraulico*, che si compone d'un vaso di vetro M (fig. 39), che riposa sopra un perno, in modo che può liberamente ruotare intorno ad un asse verticale. Questo vaso porta alla sua parte inferiore, perpendicolarmente al suo asse, un tubo d'ottone C, terminato a' suoi estremi da due gomiti disposti orizzontalmente, ed in senso contrario. Empito d'acqua l'apparato, si producono sulle pareti del tubo inferiore delle pressioni interne che si distruggerebbero, perchè a due a due eguali e contrarie, se il tubo fosse perfettamente chiuso: ma siccome è aperto alle due estremità, il liquido effluisce, e allora la pressione più non si esercita agli orifizi aperti, ma soltanto sulla porzione di parete opposta A, come vedesi a destra della figura. La pressione che soffre la parete in A, non essendo equilibrata dalla pressione opposta, imprime al tubo e a tutto l'apparato un moto di rotazione nel senso della freccia A; il qual moto è tanto più veloce quanto maggiore è l'altezza del liquido nel vaso, e quanto maggiore è la superficie della sezione degli orifizi, per cui esce il liquido.

Fig. 39 (a. = 62).

Le pressioni laterali ebbero una importante applicazione nei motori idraulici, conosciuti sotto il nome di *ruote a reazione*.

85. Paradosso idrostatico. — Vedemmo (82) che la pressione sul fondo d'un vaso pieno di un liquido non dipende nè dalla forma del vaso, nè dalla quantità di un liquido, ma solamente dall'altezza di quest'ultimo al disopra del fondo. Ora, non si deve confondere tal pressione sul fondo con quello che il vaso esercita sui corpi che lo sostengono. Quest'ultima è sempre eguale al peso totale del vaso e del liquido, ch'esso contiene; la prima invece può essere maggiore di questo peso, minore od eguale, secondo la forma del vaso.

Per esempio siano tre vasi A, B, C (fig. 40, 41, 42), di egual fondo ma di forma diversa, riempiti di acqua fino alla stessa altezza. La pressione sul fondo dei vasi è la stessa nei tre casi, ma quella trasmessa dai vasi ai sostegni, è variabile. Infatti, se nel vaso B si decompongono le pressioni normali alle pareti in pressioni orizzontali e in pressioni verticali, le prime si distruggono due a due; mentre le pressioni verticali aggiungendosi a quelle che si esercitano sul fondo, è la somma di tutte queste pressioni che si esercita sul sostegno; quest'ultimo è dunque più compresso che non lo sarebbe dal vaso A, quantunque la pressione sul

fondo sia la stessa in ambi casi. Al contrario, nel vaso C, le pressioni verticali essendo dirette in senso contrario delle pressioni sul fondo, è

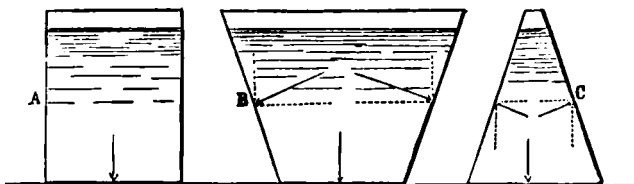



Fig. 40. Fig. 41. Fig. 42.

solamente la differenza di queste pressioni che si trasmette al sostegno del vaso; per cui questo sostegno è meno premuto che non lo sarebbe dal vaso A.

Questa contraddizione apparente tra la pressione esercitata sul fondo di un vaso dal liquido che contiene, e quella esercitata sul sostegno che sopporta il vaso, si designa col nome di *paradosso idrostatico.*

CONDIZIONI D'EQUILIBRIO DEI LIQUIDI

86. **Equilibrio di un liquido in un solo vaso.** — Perchè un liquido si mantenga in equilibrio in un vaso di forma qualunque, bisogna che soddisfaccia alle due condizioni seguenti:

1.° *La sua superficie, in ciascun punto, deve essere perpendicolare alla direzione della risultante delle forze che sollecitano le molecole del liquido.*

2.° *Una molecola qualunque della sua massa deve provare in tutti i sensi pressioni eguali e contrarie.*

Per dimostrare che la prima condizione è necessaria, supponiamo che *mp* rappresenti la direzione della risultante delle forze che sollecitano una molecola qualunque *m* della superficie (fig. 43), e questa superficie sia inclinata rispetto alla forza *mp*. Quest'ultima forza si potrà allora decomporre nelle due *mq* ed *mf* (28): l'una perpendicolare alla superficie del liquido, l'altra alla direzione *mp*. Ora la prima sarà distrutta dalla resistenza del liquido, e la seconda trascinerà la molecola nella direzione *mf*, ciò che dimostra che l'equilibrio è impossibile.

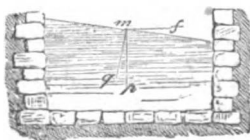



Fig. 43.

Se la forza che sollecita il liquido è la gravità, la direzione *mp* è verticale, ed allora, perchè vi sia equilibrio, la superficie libera del liquido deve essere piana ed orizzontale (38), almeno se il liquido è contenuto in un vaso o bacino di piccola estensione, perchè allora la direzione della gravità è la stessa in ciascun punto. Ma così non avviene per una superficie liquida di grande estensione, come quella del mare. Infatti, dovendo questa superficie essere in ciascun luogo perpendicolare alla direzione della gravità, che cambia da un luogo all'altro, dirigendosi sempre verso il centro della terra, ne risulta che la superficie del mare cambia di direzione insieme colla gravità, e prende una forma sensibilmente sferica.

Per constatare esperimentalmente che il filo a piombo in ciascun luogo è perpendicolare alla superficie dei liquidi in equilibrio, tenendo in mano il filo a piombo come nella figura 7, se ne immerge la palla in un vaso pieno d'acqua; allora si scorge nell'acqua una immagine del filo esattamente in linea retta con lui, ciò che non accadrebbe se esso non fosse perpendicolare alla superficie del liquido.

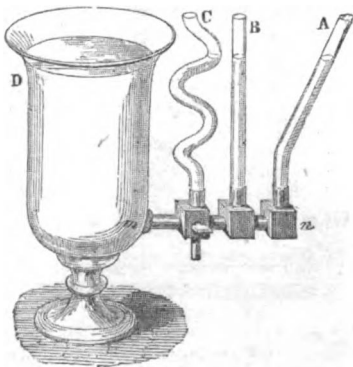
Quanto alla seconda condizione di equilibrio, essa è evidente per sè stessa; giacchè, se in due direzioni opposte, le pressioni che si esercitano su una molecola qualunque, non fossero eguali e contrarie, la molecola sarebbe trascinata nel senso della maggiore pressione, e non vi sarebbe più equilibrio. Questa seconda condizione è, d'altronde, una conseguenza del principio di eguaglianza di pressione e della reazione che qualunque pressione fa nascere nella massa dei liquidi, e si potrebbe enunciarla dicendo che: *in un liquido in equilibrio, le pressioni verticali sono eguali da tutti i punti d'uno stesso strato orizzontale.* Infatti, codesto strato è, secondo quanto si è veduto, parallelo alla superficie libera del liquido, e per conseguenza tutte le sue molecole, essendo alla stessa profondità, sopportano delle pressioni eguali (80).

87. **Equilibrio di uno stesso liquido in parecchi vasi comunicanti.** — Allorchè parecchi vasi di forma qualunque, contenenti lo stesso liquido, comunicano fra loro, non vi è equilibrio se non quando il liquido, in ciascun vaso, soddisfa alle due condizioni precedenti (86), ed inoltre *le diverse superficie libere del liquido, in tutti i vasi, sono situate in un medesimo piano orizzontale.*

Fig. 44 (a. = 38).

Infatti, siano A,B,C,D, diversi vasi comunicanti fra loro (fig. 44); se nel tubo di comunicazione *mn* si immagina uno strato liquido, esso non vi si potrà mantenere in equilibrio, se non allora quando le pressioni che sopporta da *m* verso *n* e da *n* verso *m* siano eguali e contrarie. Ma abbiamo veduto (83) che queste pressioni sono rispettivamente equivalenti al peso di una colonna d'acqua avente per base la sezione che si considera, e per altezza la verticale condotta dal suo centro di gravità alla superficie libera del liquido. Se si immagina adunque un piano orizzontale condotto pel centro di gravità di questa sezione, si vede che l'equilibrio non può sussistere se non quando l'altezza del liquido al disopra di questo piano è in ciascun vaso la stessa; ciò che dimostra il principio enunciato.

88. **Equilibrio dei liquidi sovrapposti.** — Allorchè diversi liquidi eterogenei sono sovrapposti in uno stesso vaso, perchè vi sia equilibrio, bisogna che ciascuno di essi soddisfaccia alle condizioni necessarie pel caso di un solo liquido (86); ma, inoltre, *perchè l'equilibrio sia stabile, i liquidi devono essere sovrapposti in ordine di densità decrescenti dal basso all'alto.*

Quest'ultima condizione si dimostra esperimentalmente mediante *la fiala dei quattro elementi.* Chiamasi così una bottiglia lunga e stretta

contenente mercurio, acqua satura di carbonato di potassa, alcool colorato in rosso ed olio di nafta. Agitando la bottiglia, i quattro liquidi si mescolano; ma appena che la si lascia in riposo, il mercurio che è il più denso, precipita al fondo; quindi al disopra del mercurio si depositano successivamente l'acqua, l'alcool e l'olio di nafta. Tale infatti è l'ordine delle densità decrescenti di questi corpi. Si satura l'acqua di carbonato di potassa, acciò non si mescoli coll'alcool, nel quale il carbonato è insolubile.

La separazione dei liquidi, nella precedente esperienza, bisogna ripeterla dalla stessa causa per la quale i solidi immersi in un liquido più denso di essi, galleggiano alla sua superficie (97).

È appunto pel principio di idrostatica or ora enunciato, che l'acqua dolce, allo sbocco dei fiumi galleggia lungo tempo sull'acqua salata del mare. È per la causa istessa che la crema, la quale è meno densa del latte, se ne separa a poco a poco, e si porta alla sua superficie.

89. **Equilibrio di due liquidi eterogenei in due vasi comunicanti.** — Allorchè due liquidi di densità differente e senza azione chimica l'uno sull'altro, sono contenuti in due vasi comunicanti, alle due condizioni di equilibrio già conosciute (86), bisogna aggiungere questa, che *le altezze delle colonne liquide, che si fanno equilibrio, devono essere in ragione inversa delle densità dei due liquidi.*

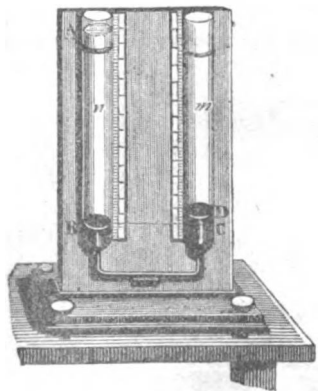



Fig. 45 (a. = 72).

Per dimostrare questo principio coll'esperienza, si prendono due tubi *m,n*, riuniti con un tubo a piccolo diametro, e fissi ad una tavoletta verticale (fig. 45) e vi si versa del mercurio; quindi in uno dei rami AB si versa dell'acqua. Siccome la colonna d'acqua AB esercita in B una pressione sul mercurio, il livello di quest'ultimo si abbassa nel ramo AB e si eleva nell'altro di una quantità CD; di modo che, stabilito l'equilibrio, se si immagina in B un piano orizzontale BC, la colonna di acqua AB fa equilibrio alla colonna di mercurio DC. Se si misurano allora le altezze CD ed AB mediante due scale fissate parallelamente alle braccia del tubo, si trova che la DC è 13 volte e mezzo minore della AB. Ora, vedremo quanto prima, che la densità del mercurio è 13 volte e mezzo quella dell'acqua; adunque le altezze sono in ragione inversa delle densità. Si comprende infatti, come, dovendo essere uguali le pressioni, sopra una medesima sezione orizzontale, questo risultato non possa ottenersi se non guadagnando in altezza ciò che si perde in densità.

Il principio precedente si può dedurre da un calcolo semplicissimo. Perciò sieno d e d' le densità dell'acqua e del mercurio, h e h' le altezze di questi liquidi quando sono in equilibrio, e sia g l'intensità della gravità. La pressione in B, essendo proporzionale alla densità del liquido sovrastante alla sua altezza ed all'intensità della gravità, ha per misura il prodotto dhg. Per la stessa ragione, la pressione che si esercita in C ha per misura $d'h'g$. Ma quando vi è equilibrio, queste pressioni sono uguali; dunque si ha $dhg = d'h'g$, e sopprimendo il fattor comune g, $dh = d'h'$. Ora quest'ultima eguaglianza altro non è che l'espressione del principio che si trattava di dimostrare, poi-

che, dovendo i due prodotti dh e $d'h'$ restar sempre uguali fra loro, ne segue che quanto maggiore sarà d' rispetto a d, tanto minore sarà h' rispetto ad h

Questo principio di idrostatica può servire a determinare la densità di un liquido Infatti, supponiamo che l'uno dei rami del tubo precedente contenga acqua e l'altro olio, e che le altezze rispettive delle due colonne liquide, che si fanno equilibrio, siano 38 centimetri per l'olio e 35 per l'acqua Prendendo per unità la densità dell'acqua, e rappresentando con x quella dell'olio, si ha

$$38 \times x = 35 \times 1 \text{; da cui } x = \frac{35}{38} = 0{,}92.$$

APPLICAZIONI DEI PRECEDENTI PRINCIPII DI IDROSTATICA

90. **Torchio idraulico.** — Il principio dell'eguaglianza di pressione (79) ricevette una importante applicazione nel *torchio idraulico,* che Pascal immaginò, e Bramah costrusse per la prima volta a Londra nell'anno 1796.

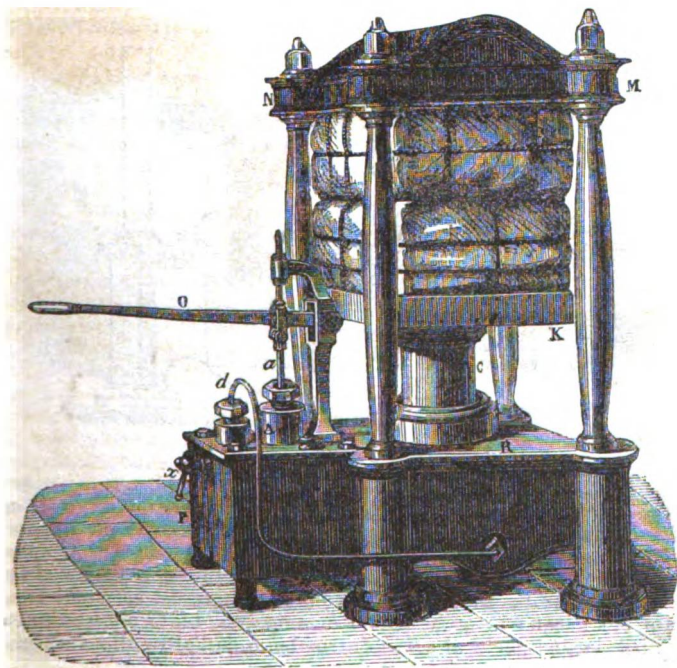



Fig. 46.

Questo apparato, col mezzo del quale si possono produrre enormi pressioni, è costrutto tutto in ferraccio. La figura 46 ne mostra l'insieme, e la figura 47 rappresenta una sezione verticale. In un corpo di tromba B, a grande diametro e a pareti resistentissime, può ascendere e discendere a sfregamento dolce un cilindro C che fa l'ufficio di stan-

tuffo. Ad essa è fissata una piastra K che ascende e discende con lui fra quattro colonne. Queste portano un'altra piastra MN fissa; ed è fra quest'ultima piastra e la piastra K che vengono posti gli oggetti da comprimersi.

Quanto all'ascensione dello stantuffo C (fig. 47), essa si ottiene per mezzo di una *tromba di iniezione* A, che aspira l'acqua da un serbatoio P, e la spinge nel cilindro B. Si fa muovere lo stantuffo *a* in questa pompa col mezzo di una leva O. Quando lo stantuffo si innalza, la valvola S si apre, e l'acqua si introduce nel corpo di tromba A; poi quando ridiscende, questa valvola si chiude, e una seconda valvola *m*, che era chiusa durante l'innalzamento dello stantuffo, è sollevata attualmente dalla pressione dal basso all'alto che essa riceve e l'acqua è spinta per il tubo *d* fino nel corpo di tromba B. Ora, è appunto in codesto momento che si guadagna tanto più in pressione, quanto maggiore è la sezione dello stantuffo C riguardo a quella dello stantuffo *a*.

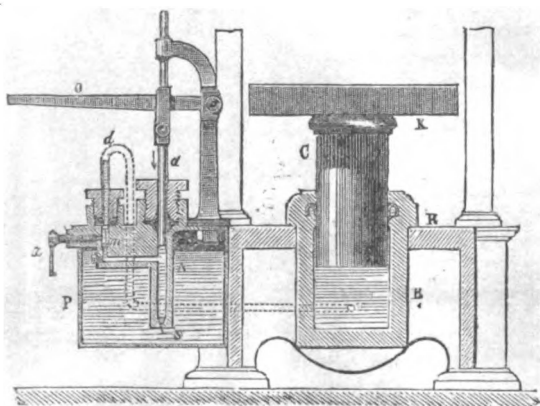



Fig. 47.

Avvi un altro pezzo che merita di essere descritto, ed è il *cuoio convesso*. Chiamasi così un cuoio forte, imbevuto di olio ed impermeabile all'acqua, che serve a chiudere esattamente il corpo di tromba H. Questo cuoio, ricurvo a guisa di un U rovescio, si avvolge circolarmente in una cavità praticata all'alto della parete del corpo di tromba. Quanto più l'acqua in quest'ultimo è compressa, tanto più questo cuoio si applica, da una parte al corpo di tromba, e dall'altra allo stantuffo C, in modo da impedire qualunque fuga.

La pressione che si può ottenere mediante il torchio idraulico, dipende dal rapporto fra la sezione dello stantuffo C e quella dello stantuffo *a*. Se la prima è 50 o 100 volte maggiore della seconda, la pressione che lo stantuffo maggiore sopporta dal basso all'alto sarà 50 o 100 volte quella esercitata dallo stantuffo minore. Inoltre, si può aumentare la pressione anche per mezzo della leva O. Infatti tenendo il braccio di leva della potenza uguale a cinque volte quello della resistenza, la

potenza verrà quintuplicata (45). Se adunque un uomo esercita sulla leva uno sforzo di 30 Kg, l'effetto trasmesso dallo stantuffo *a* sarà di 150 Kg e quello che trasmetterà lo stantuffo C, supposto che la sua sezione sia 100 volte quella del piccolo, sarà di 15,000 Kg.

Bisogna notare che quanto più il diametro dello stantuffo C sarà grande rispetto a quello dello stantuffo *a*, tanto più la corsa del primo sarà lenta in confronto a quella del secondo, vale a dire che *ciò che si guadagna in forza si perde in velocità*. Questo difatti è un principio generale di meccanica che si verifica in tutte le macchine.

Il torchio idraulico viene adoperato in tutti i lavori, nei quali necessitano grandi pressioni. Lo si adopera per sodare i panni, per estrarre il succo dalle barbabietole, l'olio dai semi oleosi. Serve altresì per provare i cannoni, le caldaie a vapore e le catene destinate alla marina.

91. **Livello ad acqua.** — Il *livello ad acqua* è una applicazione delle condizioni di equilibrio nei vasi comunicanti (87). Esso si compone di un tubo di latta o di ottone, piegato a gomito alle sue estremità; a queste sono adattati due tubi di vetro D ed E (fig. 48). Per servirsi

Fig. 48 (l. = 90).

di questo apparato lo si dispone orizzontalmente sovra un sostegno a tre gambe, e vi si versa dell'acqua fino a che il liquido si innalzi nei due tubi di vetro. Stabilito l'equilibrio, il liquido si trova in questi due tubi allo stesso livello, cioè le superficie del liquido in D ed in E sono in un medesimo piano orizzontale.

Questo istrumento serve a fare delle livellazioni, vale a dire a determinare di quanto un punto è più elevato di un altro. Per esempio, se si vuol trovare di quanto un punto B del suolo è al disopra di un altro punto A, si pone in quest'ultimo punto una *biffa*. Chiamasi così un regolo di legno formato da due aste unite ad incastro e terminate da una piastra M di latta, che chiamasi lo *scopo*, e che porta al suo centro un segno. Disposta questa biffa verticalmente in A, un osservatore, situato vicino al livello, dirige per le superficie D ed E un raggio visuale verso la biffa, e fa segno ad un assistente di rialzare od abbassare lo scopo sino a che il suo centro si trovi sul prolungamento della linea DE. Misurando allora l'altezza AM, e sottraendovi l'altezza del

livello al disopra del suolo, si conosce di quanto il punto B è elevato sul punto A.

Il livello così determinato è il *livello apparente*, vale a dire quello che corrisponde a punti situati in un piano tangente alla superficie del globo, supposto perfettamente sferico. Il *livello vero* è quello che corrisponde a punti equidistanti dal centro della terra. Il livello apparente può essere preso pel livello vero solamente per punti poco distanti fra loro.

92. Livello a bolla d'aria. — Il *livello a bolla d'aria* è più sensibile e più preciso del livello ad acqua. Esso consiste semplicemente in un tubo di vetro AB (fig. 49) pochissimo incurvato nel senso della lunghezza e che si riempie d'acqua lasciandovi solo una piccola bolla d'aria, la quale tende sempre ad occuparne la parte più elevata (88). Que-

Fig. 49.

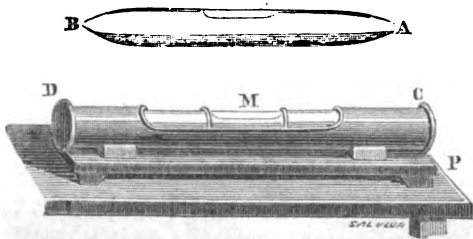



Fig. 50 (l. = 18).

sto tubo, chiuso alla lampada, alle sue estremità, è racchiuso in un astuccio di ottone CD aperto superiormente (fig. 50). Quest'ultimo è fissato ad un sostegno dello stesso metallo, il quale è disposto in modo che quando giace sopra un piano orizzontale P, la bolla d'aria M si ferma precisamente fra due punti segnati sull'astuccio.

Per fare delle livellazioni con questo apparato, lo si unisce ad un cannocchiale, in modo che serva ad indicare quando l'asse del medesimo è orizzontale.

93. Corsi di acque, pozzi artesiani. — I laghi, i mari, le sorgenti, i fiumi, sono altrettanti vasi comunicanti, nei quali le acque tendono continuamente a disporsi ad un livello vero (91).

Lo stesso accade dei *pozzi artesiani*, così chiamati perchè furono per la prima volta costrutti nell'antica provincia di Artois, nella quale se ne trovano alcuni, la cui origine sembra rimontare alla fine del XII secolo. Nella China e nell'Egitto furono praticati pozzi di questo genere in un'epoca assai più remota.

Questi pozzi sono fori assai ristretti, praticati mediante una trivella, e la profondità dei quali è assai variabile. Le acque loro, generalmente, sono zampillanti. Per intenderne la teoria bisogna notare che dei terreni componenti la corteccia del globo alcuni sono permeabili alle acque come le sabbie, le ghiaie; gli altri impermeabili, come le argille. Ciò posto, si supponga un bacino geografico più o meno esteso, al disotto del quale si trovino due strati impermeabili AA, BB (fig. 51), fra i quali

è compreso uno strato permeabile MM. Supponiamo, infine, che quest'ultimo comunichi con altri terreni più elevati, attraverso i quali si infiltrino le acque piovane. Queste, seguendo la pendenza naturale del terreno, attraverso lo strato permeabile, si portano al disotto del bacino

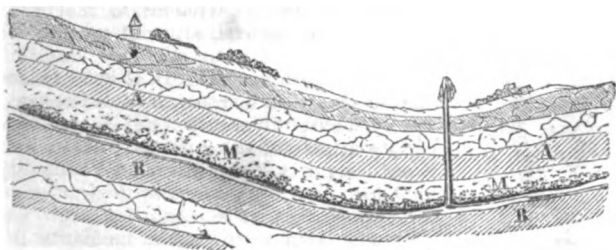



Fig. 51.

geografico da noi supposto, senza poter comunicare con esso, perchè ne sono separate da uno strato impermeabile AA. Ma se, incominciando dal suolo, si pratica un foro attraverso questo strato, le acque, tendendo sempre a disporsi allo stesso livello, si innalzano in questo foro ad un'altezza tanto maggiore, quanto più in alto è il terreno con cui comunicano.

Le acque che alimentano i pozzi artesiani vengono sovente da 20 a 30 leghe di distanza. La loro profondità varia a seconda della località. Il pozzo trivellato di Grenelle, presso Parigi, ha 548 metri di profondità, e dà per ogni minuto 2400 litri d'acqua, la quale è a 27° in ogni stagione. Dietro la legge dell'aumento di temperatura degli strati terrestri al disotto del livello del suolo (413), le acque di questo pozzo sortirebbero tutto l'anno a 32° cioè alla temperatura ordinaria dei bagni, qualora se ne accrescesse la profondità di 150 metri.

Il pozzo artesiano di Passy, terminato nel 1861, ha 587^{m}, 5 di profondità. La temperatura dell'acqua è di 28, e il suo prodotto è molto più considerevole di quello del pozzo di Grenelle.

CORPI IMMERSI NEI LIQUIDI

94. Pressioni sopportate da un corpo immerso in un liquido. — Quando un corpo solido è interamente immerso in un liquido, la sua superficie sostiene in ciascun punto delle pressioni che gli sono rispettivamente perpendicolari, e che crescono col crescere della profondità. Se tutte queste pressioni si immaginano decomposte in pressioni orizzontali e pressioni verticali, le prime, per ogni sezione orizzontale, sono eguali e contrarie a due a due, e per conseguenza, si fanno equilibrio. Riguardo alle pressioni verticali poi, è facile il vedere che esse sono inuguali, e che tendono a spingere il corpo immerso dal basso all'alto.

Infatti immaginiamo un tubo immerso in una massa d'acqua (fig. 52), e supponiamo, per maggiore semplicità che le sue pareti laterali siano disposte verticalmente. Queste pareti, presentando la stessa superficie, e trovandosi alla stessa profondità, sostengono pressioni eguali (83). Egli

è d'altronde evidente che le pressioni sopra due facce opposte sono in direzione contrarie, e si fanno quindi equilibrio. Se ora consideriamo le pressioni che si esercitano sulle facce orizzontali A e B, vediamo che la prima è premuta dall'alto al basso dal peso di una colonna di acqua avente per base la faccia stessa, e per altezza AD (83); e parimenti, la faccia inferiore è spinta dal basso all'alto dal peso di una colonna d'acqua avente per base questa faccia stessa e per altezza BD (81). Il cubo tende adunque ad essere sollevato per la differenza di queste pressioni, differenza che è evidentemente uguale al peso di una colonna d'acqua avente la stessa base e la stessa altezza del cubo; per conseguenza, *questa pressione equivale al peso stesso del volume d'acqua spostato dal corpo immerso.*

Fig. 52.

Si può riconoscere, anche mediante il ragionamento seguente, che tutti i corpi immersi in un liquido sostengono, dal basso all'alto, una spinta eguale al peso del liquido spostato. Infatti, in una massa liquida in equilibrio, consideriamo una porzione di liquido di una forma qualunque, sferica, elissoidica, o irregolare, e supponiamola solidificata, senza aumento nè diminuzione di volume. È evidente, che la parte così solidificata sopporterà, per parte della massa liquida, le stesse pressioni che per lo avanti, e che per conseguenza, essa sarà ancora in equilibrio; ciò che non può aver luogo se non perchè è soggetta dal basso all'alto ad una spinta eguale al suo peso. Ora, se invece della parte solidificata, si immagina un corpo di un'altra sostanza, ma esattamente dello stesso volume e della stessa forma, questo corpo sosterrà necessariamente le stesse pressioni che sopportava il liquido solidificato, e da quel momento sarà sottoposto ei pure ad una spinta uguale al peso del liquido spostato.

95. **Principio d'Archimede.** — Secondo ciò che dicemmo, tutti i corpi immersi in un liquido sono sottoposti all'azione di due forze opposte: la gravità, che tende ad abbassarli, e la spinta del liquido, che tende a sollevarli con uno sforzo eguale al peso stesso del liquido che il corpo sposta. Il peso di quest'ultimo è adunque distrutto in tutto od in parte da questa spinta; dal che si conchiude che *un corpo immerso in un liquido perde tanto del proprio peso quant'è il peso del liquido spostato.*

Questo principio, che serve di base alla teoria dei corpi immersi e dei corpi galleggianti, è conosciuto sotto il nome di *principio d'Archimede,* perchè fu scoperto da questo celebre geometra, morto a Siracusa 212 anni prima dell'êra cristiana.

Il principio di Archimede si dimostra esperimentalmente, mediante la *bilancia idrostatica,* la quale altro non è che una bilancia ordinaria, munita a ciascun piatto di un uncino, ed il di cui giogo può essere sollevato ad arbitrio per mezzo di un'asta dentata che si fa muovere mediante un rocchetto C (fig. 53). Un nottolino D trattiene l'asta dentata quando la si è sollevata. Spinto il giogo in alto, si sospende, al disotto dell'uno de' suoi piatti, un cilindro cavo A di ottone, ed al disotto di quest'ultimo un cilindro massiccio B, il di cui volume è esat-

tamente uguale alla capacità del primo; quindi sull'altro piatto si pongono dei pesi fintanto che si stabilisce l'equilibrio. Se allora si riempie d'acqua il cilindro A, è tolto l'equilibrio; ma se si abbassa nello stesso tempo il giogo, in modo che il cilindro B si immerga interamente nell'acqua di un vaso sottoposto, si vede ristabilirsi l'equilibrio. Il cilindro B perde adunque, per la sua immersione, tanto del proprio peso

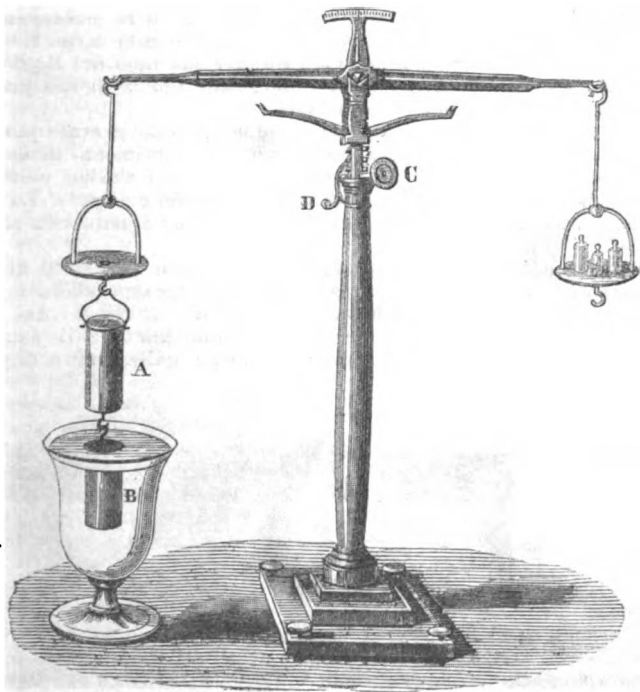



Fig. 53 (a. = 60).

quant'è il peso dell'acqua versata nel cilindro A. Il principio d'Archimede trovasi così dimostrato, poichè la capacità di quest'ultimo cilindro è precisamente uguale al volume del cilindro B.

96. **Determinazione del volume di un corpo.** — Il principio d'Archimede fornisce il mezzo di ottenere con precisione il volume di un corpo di forma anche la più irregolare, purchè non sia solubile nell'acqua. Perciò lo si sospende, mediante un filo sottile, alla bilancia idrostatica, e lo si pesa prima nell'aria, indi nell'acqua distillata ed a 4°. La perdita di peso che allora si verifica è il peso dell'acqua spostata. Dal peso di quest'acqua si deduce il suo volume, e per conseguenza anche il volume del corpo immerso che evidentemente è ad esso eguale. La perdita di peso sia, per es., di 155 grammi. Essa indica che l'acqua spostata pesa 155 grammi; ma si sa che il grammo è il peso di un

centimetro cubo d'acqua distillata ed a 4°; dunque il volume d'acqua spostata e per conseguenza quello del corpo immerso, è di 155 centimetri cubi.

Se l'acqua non fosse a 4°, si dovrebbe fare una correzione la quale dipende dalla formola delle dilatazioni (290).

97. **Equilibrio dei corpi immersi e dei corpi galleggianti.** — Dalle considerazioni teoriche che ci condussero al principio d'Archimede (94 e 95), si rileva, che se un corpo immerso in un liquido ha la medesima densità del liquido, la spinta che tende a sollevare questo corpo è uguale al suo peso. Il corpo rimane adunque sospeso nel seno del liquido.

Ma se il corpo è più denso del liquido, cade perchè il suo peso supera la spinta diretta dal basso all'alto.

Infine, se il corpo immerso è meno denso del liquido, prevale la spinta di quest'ultimo. Il corpo concepisce adunque un movimento di ascesa e s'innalza fuori del liquido fino a che non ne sposti che un volume di peso eguale al proprio. Allora si dice che il corpo *galleggia*. La cera, il legno e tutti i corpi più leggeri dell'acqua galleggiano alla sua superficie.

Perchè i corpi, immersi o galleggianti, prendano uno stato di equilibrio stabile, è necessario: 1.° *che il liquido spostato abbia un peso eguale al loro;* 2.° *che il centro di gravità sia al disotto del centro di pressione* (83) *e sulla stessa verticale.* Siano infatti c il centro di pressione e g il centro di gravità di un corpo galleggiante (fig. 54);

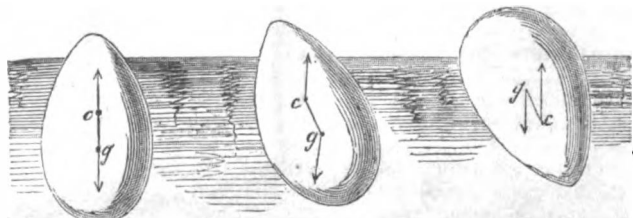



Fig. 54. Fig. 55. Fig. 56.

se sono soddisfatte le due condizioni antecedenti, le forze applicate in c ed in g, essendo eguali e contrarie, si distruggono ed avvi equilibrio. Di più, questo equilibrio è stabile, perchè se il corpo è inclinato, come lo mostra la figura 55, le forze applicate in c ed in g tendono evidentemente a ricondurlo nella posizione verticale. Ma se il centro di pressione trovasi al disotto del centro di gravità, non vi può essere che un equilibrio instabile, quando i punti g e c sono sulla stessa verticale; perchè appena che il corpo si inclina (fig. 56) le azioni delle due forze concorrono per farlo rovesciare e ricondurlo nella sua primitiva posizione (fig. 54). Tuttavia si dimostra, in meccanica, che vi può essere equilibrio stabile anche quando il centro di pressione è inferiore al centro di gravità. Ma bisogna allora che quest'ultimo sia al disotto di un certo punto che si chiama *metacentro* e che si determina mediante il calcolo. La conoscenza di questo punto è di somma importanza nella disposizione della zavorra delle navi, perchè dalla posizione relativa di questi punti dipende la loro stabilità.

Secondo il principio d'Archimede, i corpi galleggiano tanto più facilmente alla superficie dei liquidi, quanto questi sono relativamente più densi. Si ponga, per es., un uovo nell'acqua ordinaria, esso va a fondo, perchè a volume uguale è più pesante dell'acqua; ma se lo si pone nell'acqua satura di sale, galleggia. Un pezzo di quercia galleggia sull'acqua, ma si sommerge nell'olio. Una massa di ferro galleggia in un bagno di mercurio; nell'acqua cala a fondo immediatamente. Il volume della parte immersa di un corpo galleggiante è in ragione inversa della densità del liquido, ed in ragione diretta di quella del corpo stesso.

98. **Diavolo di Cartesio.** — I diversi effetti di sospensione, immersione e galleggiamento in un liquido, sono riprodotti in un piccolo apparato, detto *diavolo di Cartesio* (fig. 57). Esso si compone di una provetta di vetro riempita in parte di acqua, e sormontata da un tubo di ottone nel quale avvi uno stantuffo che si muove a mano, e che chiude esattamente. Nel liquido avvi una piccola figura di smalto, sostenuta da una bolla di vetro *a*, che contiene aria ed acqua, e che galleggia alla superficie del liquido. Questa bolla ha, alla sua parte inferiore, una piccola apertura per la quale l'acqua può entrare o uscire, secondo che l'aria interna della bolla è più o meno compressa. La quantità d'acqua introdotta previamente nella bolla è tale, che l'apparato non ha bisogno che di un piccolissimo aumento di peso per sommergersi interamente. Se adunque colla mano si esercita una leggera pressione sullo stantuffo, come mostra la figura 57, l'aria sottoposta si trova compressa, e trasmette la sua pressione all'acqua del vaso ed all'aria che trovasi nella bolla. Ne risulta che una certa quantità d'acqua penetra in quest'ultima, ed il corpo galleggiante, reso più pesante, si immerge. Se allora cessa la pressione, l'aria della bolla si dilata, ne discaccia l'eccesso di acqua penetratovi, ed il corpo immerso divenuto più leggero, torna di nuovo a galleggiare.

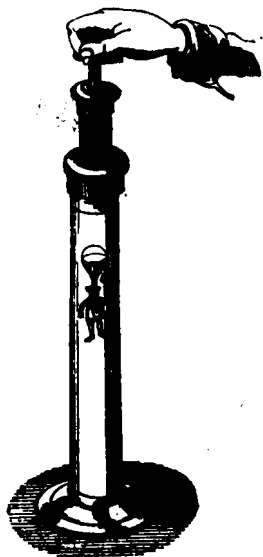



Fig. 57.

99. **Vescica natatoria dei pesci.** — Moltissime specie di pesci portano nell'addome, sotto la spina dorsale, una vescica piena di aria, detta *vescica natatoria*. Il pesce, comprimendola o dilatandola mediante uno sforzo muscolare, fa variare il proprio volume, e produce effetti analoghi a quelli che osservammo nel diavolo di Cartesio; vale a dire che si abbassa o si innalza a volontà in seno delle acque.

100. **Nuoto.** — Il corpo umano, a volume uguale, è generalmente più leggero dell'acqua dolce: può quindi galleggiare naturalmente su questo liquido, e meglio ancora sull'acqua salata del mare che è più densa. La difficoltà del nuoto adunque non consiste nel mantenersi alla superficie dell'acqua, ma nel poter tenere la testa fuori del liquido, onde respirare liberamente. Ora, siccome nell'uomo la testa ha un gran peso in confronto alle membra inferiori, così essa tende a sommergersi; ed

è appunto questo che rende il nuoto per l'uomo un'arte che ei deve coltivare. Nei quadrupedi invece, la testa, essendo meno pesante che la parte posteriore del corpo, può rimanere fuori dell'acqua senza sforzo; perciò questi animali nuotano naturalmente.

PESI SPECIFICI, AREOMETRI A VOLUME COSTANTE

101. Determinazione dei pesi specifici. — Abbiamo già veduto (41) che il peso specifico di un corpo, sia solido, sia liquido, è un numero che esprime quanto pesi questo corpo, a volume uguale, comparativamente all'acqua distillata presa a 4 gradi. Dietro questa definizione, per calcolare il peso specifico di un corpo, basta determinare il suo peso e quello di un egual volume di acqua a 4°; quindi dividere il primo peso pel secondo: il quoziente è il peso specifico cercato, assumendosi per unità quello dell'acqua.

Per determinare i pesi specifici dei solidi e dei liquidi si usano tre metodi: il *metodo della bilancia idrostatica*, quello degli *areometri* e quello della *boccetta*. Tutti e tre si riducono, secondo quel che abbiamo detto, a cercare dapprima il peso del corpo e quindi quello di un egual volume di acqua. Noi applicheremo successivamente questi diversi metodi alla ricerca dei pesi specifici dei solidi e dei liquidi.

102. Pesi specifici dei solidi. — 1.° *Metodo della bilancia idrostatica.* — Per ottenere il peso specifico di un solido mediante la bilancia idrostatica (fig. 53), si pesa dapprima questo corpo nell'aria, quindi, sospendendolo all'uncino della bilancia, lo si pesa nell'acqua. La perdita di peso che allora si verifica è, secondo il principio di Archimede, il peso di un volume d'acqua eguale a quello del corpo: non rimane adunque che a dividere il peso del corpo nell'aria, per la perdita di peso che soffre nell'acqua. Il quoziente è il peso specifico richiesto (101).

Se P rappresenta il peso di un corpo nell'aria, P′ il suo peso nell' acqua, e D il suo peso specifico, essendo P — P′ il peso dell'acqua spostata, si ha $D = \frac{P}{P - P'}$.

2.° *Metodo dell'areometro di Nicholson.* — L'*areometro di Nicholson* è un apparato galleggiante, che serve a determinare il peso specifico dei corpi. Esso si compone di un cilindro cavo B (fig. 58) di latta, terminato da un cono C riempito di piombo. Quest'ultimo serve a zavorrare l'apparato in modo che il suo centro di gravità si trovi al disotto del centro di pressione, condizione necessaria affinchè l'equilibrio sia stabile (97). Alla parte superiore, l'apparato termina in un'asta, che porta un piatto A destinato a ricevere i pesi ed il corpo, di cui si cerca il peso specifico. Infine, sull'asta evvi un'incisione *o* che si chiama *punto di affioramento,* che serve ad indicare quando l'apparato si sommerge di una stessa quantità.

Ciò posto per esperimentare con questo apparato, si cerca dapprima il peso che bisogna mettere nel piatto A, acciocchè l'areometro si immerga nell'acqua fino al punto di affioramento; perchè senza questo peso, s'innalza in parte fuori dell'acqua. Supponiamo che questo peso sia, per es., 125 grammi, ed ammettiamo che si tratti di trovare il peso specifico dello zolfo; se ne prende un pezzo di un peso minore di 125 grammi, lo si pone nel piatto A, e vi si aggiungono tanti grammi fino a che l'areometro affiori di nuovo. Se si aggiungessero, per es., 55

grammi, è evidente che il peso dello zolfo sarà la differenza tra 125 e 55, ossia 70 grammi. Determinato così il peso dello zolfo nell'aria, altro non rimane che a trovare il peso di un egual volume di acqua. Perciò si solleva l'areometro, si porta il pezzo di zolfo dal piatto A sul piatto C in *m*, come mostra la figura. Il peso totale dello strumento non è cambiato, eppure immergendolo di nuovo, si osserva che più non affiora; la causa si è che lo zolfo, essendo immerso, perde attualmente una parte del suo peso eguale al peso che sposta. Se allora si aggiungono nel piatto superiore dei pesi fino a tanto che l'areometro torni ad affiorare, per esempio 34^{gr},4, questo numero rappresenta il peso del volume di acqua spostato, vale a dire di un volume d'acqua eguale a quello dello zolfo. Ora non resta adunque che a dividere 70 grammi, peso dello zolfo nell'aria per 34^{gr},4; il quoziente 2,03 rappresenta il peso specifico dello zolfo.

Fig. 58 (n. = 40).

Se la sostanza di cui si cerca il peso specifico è più leggera dell'acqua, tendendo a galleggiare, non può rimanere sul piatto inferiore C. In tal caso si adatta a quest'ultimo una piccola reticella mobile, di filo di ferro, la quale si oppone all'ascesa del corpo: in quanto al resto l'esperienza si compie come poc'anzi.

3.° *Metodo della boccetta.* — Questo metodo dovuto a Klaproth si impiega specialmente pei corpi in polvere. Esso richiede semplicemente l'uso di una piccola boccia a collo largo, che si chiude con un turacciolo di vetro largo smerigliato. Questo turacciolo è forato da un foro che si prolunga per una tubulatura capillare terminata essa stessa da un tubo di grande diametro (fig. 59). Sopra questa tubulatura trovasi segnato un tratto di affioramento *a*, e a ciascuna pesata si ha cura di riempire la boccetta di acqua esattamente fino a questo punto, ciò che si ottiene immergendo per intero la boccetta nell'acqua e turandola mentre essa è così immersa. La boccetta e la tubulatura trovandosi allora completamente riempiti, si toglie l'eccesso di acqua fino al tratto d'affioramento *a*, col mezzo di un pezzo di carta svedese arrotolato. Dopo di aver pesata la polvere di cui si cerca il peso specifico, la si colloca in uno dei piatti di una bilancia, e le si pone accanto la boccetta suddescritta ripiena esattamente di acqua, chiusa e asciugata con cura. Quindi si stabilisce la tara, ponendo nell'altro piatto della migliarola di piombo. Ciò fatto, si ritira la boccetta, la si chiude, e vi si versa la polvere. Riposto il turacciolo, nello stesso modo che è stato detto di sopra, la si colloca di nuovo nel piatto ove era dapprima. L'equilibrio più non sussiste, perchè la polvere ha scacciata dalla boccetta una certa quantità di acqua.

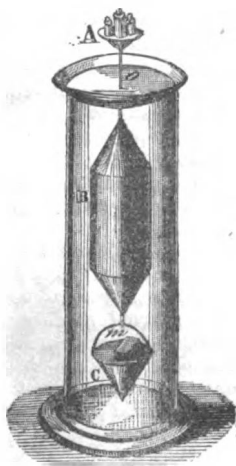
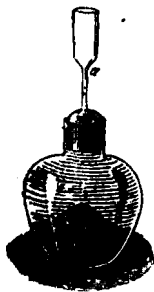



Fig. 59.

Se, dal lato della boccetta, si aggiungono dei pesi fino a che la bilancia riprenda la sua posizione orizzontale, il numero dei grammi aggiunti rappresenta il peso di un volume d'acqua eguale a quello della polvere. Altro non rimane a fare che il calcolo accennato nei due metodi precedenti.

In questa esperienza è necessario scacciare una piccola quantità di aria che è aderente alle molecole del corpo in polvere, e che produce lo spostamento d'un volume d'acqua troppo considerevole. A quest'effetto, dopo d'aver versata la polvere nell'acqua della boccetta, si pone quest'ultima sotto la campana della macchina pneumatica, e si fa il vuoto; l'aria allora sfugge in virtù della sua forza elastica. Lo stesso risultato si otterrebbe facendo bollire l'acqua nella quale si trova la polvere.

103. **Corpi solubili nell'acqua.** — Se, con uno dei tre metodi, che testè abbiamo considerati, accadesse che il corpo fosse solubile nell'acqua, si troverebbe il peso specifico di questo corpo relativamente ad un liquido, nel quale non fosse solubile, per esempio, l'alcool. Dopo, cercando, con uno dei processi che descriveremo, il peso specifico dell'alcool relativamente all'acqua, si ha il peso specifico della sostanza data moltiplicando il suo peso specifico relativamente all'alcool, pel peso specifico di questo liquido relativamente all'acqua.

Infatti siano, a volume eguale, P il peso della sostanza, P' quello dell'alcool, P'' quello dell'acqua. $\frac{P}{P'}$ sarà il peso specifico della sostanza relativamente all'alcool, e $\frac{P'}{P''}$ quello dell'alcool relativamente all'acqua. Ora, il prodotto di queste due frazioni, omettendo il fattor comune P', è $\frac{P}{P''}$, che rapresenta appunto il peso specifico della sostanza relativamente all'acqua.

Pesi specifici dei solidi, a zero, relativamente a quello dell'acqua distillata ed a 4 gradi, preso per unità.

Platino incrudito	23.000	Alluminio	2,67.
— fuso	19,500	Cristallo di rocca puro	2,653
Oro lavorato a martello	19,362	Vetro di Saint-Gobain	2,488
— fuso	19,258	Porcellana della China	2,385
Piombo fuso	11,352	— di Sevres	2,146
Argento fuso	10,474	Zolfo nativo	2,033
Bismuto fuso	9,822	Avorio	1,917
Rame passato alla trafila	8.878	Alabastro	1,85.
— fuso	8,788	Antracite	1,800
Ottone	8,393	Carbon fossile compatto	1,329
Acciaio non incrudito	7,816	Succino	1,078
Ferro in barre	7,788	Ghiaccio fondentesi	0,930
— fuso	7,207	Faggio	0,852
Ghisa	7,053	Frassino	0,845
Stagno fuso	7,291	Tasso	0,807
Zinco fuso	6,861	Olmo	0,800
Antimonio fuso	6,712	Pomo	0,733
Diamanti (i più pesanti)	3,531	Abete giallo	0,657
— (i più leggeri)	3.501	Pioppo bianco di Spagna	0,529
Flint-glass	3,329	— comune	0,389
Marmo statuario	2,837	Sughero	0,240

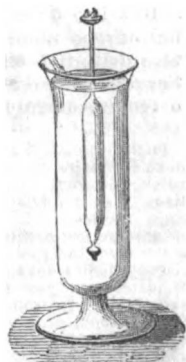
104. **Pesi specifici dei liquidi.** — 1.° *Metodo della bilancia idrostatica.* — All'uncino di uno dei piatti della bilancia si sospende un corpo sul quale il liquido, di cui si cerca il peso specifico, non abbia azione

chimica, per es., una sfera di platino. Pesando successivamente questa sfera nell'aria, nell'acqua distillata presa a 4 gradi, e nel liquido dato, si nota la perdita di peso che questa massa soffre nell'acqua e nel secondo liquido, e così si ottengono due numeri che rappresentano, a volume uguale, il peso dell'acqua e quello del liquido di cui si tratta; per conseguenza, altro non resta che a dividere il secondo peso pel primo.

Sia P il peso della sfera di platino nell'aria, P' il suo peso nell'acqua, P'' il suo peso nel secondo liquido, e D il peso specifico di quest'ultimo; il peso dell'acqua spostata dalla sfera di platino è P — P', e quello del secondo liquido P — P'', da cui $D = \frac{P - P''}{P - P'}$.

2.° *Metodo dell' areometro di Fahrenheit.* — L'areometro di Fahrenheit (fig. 60) è un galleggiante destinato a determinare i pesi specifici dei liquidi. La sua forma è analoga a quella dell'areometro di Nicholson: ma non ha il piatto alla parte inferiore, ed è in vetro, acciocchè si possa porre in ogni specie di liquido. La sua asta porta pure un punto di affioramento, onde appaia se costante è la porzione immersa. Finalmente, alla parte inferiore, è zavorrato mediante una piccola bolla piena di mercurio.

Fig. 60 (a. = 25).

Prima di esperimentare con questo areometro, se ne determina con precisione il peso; quindi, facendolo galleggiare in una provetta riempita d'acqua, si aggiungono dei pesi nella capsula superiore fino a che il punto di affioramento abbia raggiunto il livello dell'acqua. In questo stato, secondo la prima condizione di equilibrio dei corpi galleggianti (97), il peso dell'areometro, unitamente al peso che trovasi nella capsula, rappresenta il peso di un volume d'acqua eguale a quello della parte immersa dell'apparato. Determinando nel modo istesso il peso di un egual volume del liquido di cui si cerca il peso specifico, rimane solo a dividere l'ultimo peso pel primo.

L'areometro di Fahrenheit, al pari di quello di Nicholson, non offre, per la determinazione dei pesi specifici, la precisione che dà la bilancia idrostatica.

3.° *Metodo della boccetta.* — Questo metodo consiste nel prendere una piccola boccia di vetro simile a quella che serve pei pesi specifici dei solidi (fig. 59), pesarla vuota d'ogni liquido, e quindi pesarla piena successivamente di acqua e del liquido di cui si cerca il peso specifico. Sottraendo allora il peso del vetro da quello ottenuto in ciascuna delle due pesate successive, si ha il peso dell'acqua e quello del liquido, sotto un egual volume, e quindi se ne deduce il peso specifico cercato.

105. **Temperatura da osservarsi nella ricerca dei pesi specifici.** — Siccome il volume dei corpi aumenta coll'aumentare della temperatura, e siccome questo aumento varia da un corpo all'altro, ne segue che il peso specifico di una sostanza qualunque non è rigorosamente lo stesso a temperature differenti. Questa è la causa per cui, per la determinazione dei pesi specifici, si dovette scegliere una temperatura costante. Si convenne, per conseguenza, che l'acqua debba essere a 4 gradi, per-

chè questa è la temperatura cui corrisponde il suo massimo grado di densità. Gli altri corpi, solidi o liquidi, si suppongono a zero. Queste condizioni non vengono generalmente soddisfatte allorchè si determina un peso specifico; e perchè lo sieno, vedremo le opportune correzioni da farsi quando studieremo il calorico.

Pesi specifici dei liquidi, a zero, relativamente a quello dell'acqua distillata ed a 4 gradi, preso per unità.

Mercurio	13,596	Acqua distillata, a 4°	1,0000
Acido solforico	1,841	— — a 0°	0,9998
— cloridrico	1,24	Olio d'oliva	0,915
— azotico	1,217	Essenza di trementina	0,870
Latte	1,030	Olio di nafta	0,847
Acqua di mare	1,026	Alcool assoluto, a 15 gradi	0,747
Vino di Bordò	0,994	Etere solforico	0,715

106. **Uso delle tavole dei pesi specifici.** — Le tavole dei pesi specifici offrono numerose applicazioni. In mineralogia, forniscono un carattere distintivo onde riconoscere le specie minerali dietro la loro densità. Servono altresì a trovare il peso di un corpo di cui si conosca il volume, o reciprocamente, a calcolarne il volume allorquando il peso è dato.

Infatti, essendo il grammo ed il chilogrammo rispettivamente il peso di un centimetro e di un decimetro cubi d'acqua distillata e presa a 4°, ne risulta che a questa temperatura, un volume di acqua, misurato in centimetri cubi, pesa tanti grammi quanti centimetri contiene, e se il volume è misurato in decimetri cubi, pesa altrettanti chilogrammi quanti sono i decimetri. Si ha adunque per l'acqua la formula $P = V$, computando però il peso in grammi od in chilogrammi, secondo che il volume si ha in centimetri od in decimetri cubi. Ciò posto, siccome il peso specifico di un corpo altro non è che un numero il quale indica quanto pesi questo corpo relativamente all'acqua, ne segue, che un corpo, il quale ha un peso specifico due, tre volte maggiore dell'acqua, pesa anche, a volume eguale, due, tre volte di più. Per conseguenza, se si rappresenta il peso specifico con D, la formola $P = V$ si cangia, per un corpo diverso dell'acqua, in $P = VD$. Vale a dire che *il peso relativo di un corpo è uguale al prodotto del suo volume pel suo peso specifico.*

Dalla formola $P = VD$, si deduce $V = \frac{P}{D}$; formola che fa conoscere il volume in centimetri od in decimetri cubi, secondo che il peso è espresso in grammi od in chilogrammi.

Come applicazione della formola $P = VD$, proponiamoci di calcolare il diametro interno di un tubo di vetro. Per far questo si introduce in questo tubo una colonna di mercurio, della quale si misura con precisione la lunghezza ed il peso a zero. Potendosi ritenere questa colonna di mercurio, come sensibilmente cilindrica, dalla geometria si ha $V = \pi r^2 l$; in cui r rappresenta il raggio del cilindro, l la sua altezza, e π il rapporto fra la circonferenza ed il diametro. Sostituendo a V nella eguaglianza $P = VD$, il valore dato dalla precedente, si ha $P = \pi r^2 l D$; d'onde $r = \sqrt{\frac{P}{\pi l D}}$.

In modo analogo si calcolerebbe il diametro di un filo metallico assai sottile.

La formola $P = VD$, di cui ora facemmo uso, serve a trovare il peso relativo di un corpo, mentre le formole $P = VDg$ e $P = Mg$, date precedentemente (41), rappresentano il peso assoluto.

Perchè la formola $P = VD$ sia applicabile ai gaz, D deve rappresentare la densità del gaz rapporto all'acqua e non riguardo all'aria.

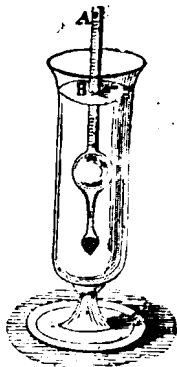
AREOMETRI A VOLUME VARIABILE

107. **Diverse specie di areometri.** — Gli areometri di Nicholson e di Fahrenheit ora descritti, si dicono *a volume costante ed a peso variabile,* perchè si fanno sempre immergere sino ad un punto fissato, aggiun-

gendovi dei pesi che variano a seconda dei solidi o dei liquidi sui quali si esperimenta. Ora, si costruiscono anche degli areometri a volume variabile e peso costante; vale a dire che non hanno un punto di affioramento fisso e conservano sempre lo stesso peso. Questi strumenti, chiamati *pesa-sali*, *pesa-acidi*, *pesa-liquori*, non sono destinati a misurare i pesi specifici dei liquidi, ma a far conoscere se le soluzioni saline, gli acidi, gli alcool, sono più o meno concentrati.

108. **Areometro di Baumé.** — Baumé, farmacista a Parigi, morto nel 1804, costrusse un areometro a peso costante, il di cui uso è assai diffuso. È un galleggiante di vetro rappresentato dalla figura 61. Esso è formato da un cannello AB, al quale sono unite due bolle, l'una al di sotto dell'altra: la superiore, un po' grossa, è piena d'aria, l'inferiore è piena di mercurio e serve di zavorra.

Fig. 61 (a. = 26).

Vi sono due maniere di graduare questo istrumento, secondo che deve immergersi nei liquidi più densi dell'acqua o nei liquidi meno densi Nel primo caso se ne regola il peso in modo che nell'acqua distillata ed a 4 gradi si immerga presso a poco fino all'estremità superiore del suo cannello, in un punto A, ove si segna O. Per compiere la graduazione, si fa una soluzione di 85 parti di acqua, in peso, e 15 di sale marino. Essendo questa soluzione più densa dell'acqua pura, l'apparato non vi si immerge che fino ad un punto B, ove si segna 15. Dividendo finalmente l'intervallo fra i punti A e B in 15 parti eguali, e continuando le divisioni sino alla estremità inferiore del cannello, lo strumento è graduato. Le divisioni si segnano sopra una piccola lista di carta posta nell'interno del cannello.

L'areometro così costrutto non può essere impiegato che pei liquidi più densi dell'acqua, quali sono gli acidi e le soluzioni saline; esso è nel tempo istesso un pesa-acidi ed un pesa-sali. Pei liquidi meno densi dell'acqua, dovendo lo zero trovarsi al basso dell'asta, la graduazione è cangiata. Baumé prese per zero il punto di affioramento in una soluzione di 90 parti di acqua, in peso, con 10 di salmarino, e, per 10 il punto di affioramento nell'acqua distillata. Dividendo poi l'intervallo compreso fra questi due punti in 10 parti eguali, e continuando la divisione sino alla sommità del cannello, l'apparato è terminato: è il pesa-liquori.

I due areometri che ora abbiamo descritti, ambedue dovuti a Baumé, sono graduati in una maniera affatto arbitraria, e non indicano nè le densità dei liquidi, nè le quantità di sale disciolte. Tuttavia si impiegano vantaggiosamente per riconoscere se una dissoluzione salina od acida venne portata ad un determinato punto di concentrazione. In breve, essi offrono dei punti determinati per mezzo dei quali si riproducono rapidamente delle mescolanze o delle soluzioni in date proporzioni, non con precisione, ma con una approssimazione sufficiente in un gran numero di casi. Per es., nella fabbricazione dei siroppi ordinari si è constatato mediante l'esperienza che in un sciroppo ben confezionato, il pesa-sali di Baumé deve marcare 35, a freddo. In tal caso, ecco che è uno strumento che il fabbricatore può facilmente consul-

tare pel grado di concentrazione del suo siroppo. Parimenti, siccome nell'acqua marina alla temperatura di 22 gradi, il pesa-sali di Baumé marca 3, così si ha un'indicazione pei bagni salati ordinati in certe malattie. Le proporzioni di sale marino che ordinano i medici sono, in generale, assai più deboli di quelle che dà l'areometro; vale a dire che i bagni salati artificiali contengono minore quantità di sale dell'acqua marina, il che toglie a questi bagni una parte della loro efficacia.

109. **Alcoometro centesimale di Gay-Lussac.** — L'alcoometro di Gay-Lussac è un istrumento destinato a misurare la *forza* dei liquidi spiritosi a 15 gradi, vale a dire *il numero di centesimi di alcool puro, in volume, che contengono questi liquidi a questa temperatura.*

La forma dell'alcoometro è totalmente precisa a quella dell'areometro di Baumé (fig. 61); ma la sua graduazione che si fa a 15 gradi, è differente. La scala posta sul cannello è divisa in 100 parti o gradi, di cui ciascuno rappresenta un centesimo d'alcool in volume: lo 0 corrisponde all'acqua pura, ed il 100 all'alcool puro. Immerso in un liquido spiritoso a 15°, l'alcoometro ne fa immediatamente conoscere la forza. Se, per esempio, in un'acquavite a 15° l'alcoometro si immerge fino alla divisione 48, ciò indica che contiene 48 centesimi del suo volume di alcool puro ed il resto di acqua; perocchè ognun sa che i liquidi conosciuti in commercio sotto i nomi di *acquavite* e di *spiriti,* sono mescolanze di acqua e di alcool.

La scala dell'alcoometro si gradua immergendo successivamente l'istrumento in varie mescolanze di alcool e di acqua in proporzioni determinate. Ma, perchè la graduazione sia esatta, bisogna tener conto della diminuzione di volume che subiscono l'acqua e l'alcool quando si mescolano (10). Perciò si prende una provetta a piede, graduata in 100 parti eguali, e versatovi dell'alcool assoluto fino alla 95ª divisione, si termina di riempirla fino a 100 con dell'acqua distillata. Si ha così una mescolanza che contiene, in volume, 95 per 100 di alcool assoluto; vi si immerge lo strumento e al punto di affioramento si segna 95. Si vuota la provetta, vi si versano 90 parti di alcool, e si termina di riempirla fino a 100 con dell'acqua distillata, ciò che dà un miscuglio contenente 90 per 100 di alcool assoluto. Così si prosegua di cinque in cinque, avendo cura di immergere ciascuna volta lo strumento ne' vari miscugli, e di segnare successivamente sull'asta 90, 85, 80.... Dividendo finalmente gl'intervalli di 5 in 5, in cinque parti eguali, lo strumento è graduato.

Bisogna osservare, che siccome la graduazione dell'alcoometro è fatta a 15°, le sue indicazioni non sono precise che a questa temperatura. Infatti a temperature più alte o più basse di 15°, aumentando o diminuendo la densità dei liquidi, l'alcoometro vi si immerge più o meno, vale a dire che il calore altera nello stesso tempo il volume dei liquidi spiritosi e le indicazioni dell'alcoometro: da ciò due cause che riunite ponno produrre un errore maggiore del 12 per 100 del valore del liquido, da 0 a 30 gradi. Per correggere questi errori, Gay-Lussac formò delle tavole che contengono, in una colonna verticale, le temperature da 0 a 30 gradi, ed, in una colonna orizzontale, i gradi dell'alcometro da 0 a 100. In queste tavole, come nelle tavole della moltiplicazione ordinaria, al punto di incontro della verticale abbassata dalla casella che contiene i gradi alcoometrici colla orizzontale che parte dalla ca-

sella ove sono i gradi del termometro, si trova il numero che indica la ricchezza reale del liquido spiritoso. Per es., se in un dato liquido alla temperatura di 22° e l'alcoometro marca 36, nella tavola si troverà che la ricchezza reale di questo liquido, ridotto a 15°, è 33; vale a dire che contiene 33 centesimi del suo volume di alcool, e per conseguenza 67 centesimi di acqua.

110. **Pesa-sali graduati sul principio dell'alcoometro centesimale.** — Si costruiscono pure dei pesa-sali graduati sul principio dell'alcoometro centesimale; che fanno cioè conoscere, in peso, la quantità del tale o tal altro sale contenuto in una soluzione. Lo zero di tutti questi strumenti corrisponde all'acqua pura; e la loro graduazione si forma facendo sciogliere 5, 10, 15, 20... grammi del dato sale, in 95, 90, 85, 80... grammi d'acqua, fino a saturazione della soluzione. Immergendo quindi successivamente lo strumento in queste soluzioni, si marca 5, 10, 15, 20... ai diversi punti di affioramento, e si divide ciascun intervallo in 5 parti eguali.

Vi è però l'inconveniente, che necessita un apposito strumento per ogni specie di sale. Quello, per es., graduato per l'azotato di potassa, darebbe indicazioni completamente false in una soluzione di carbonato di potassa o di tutt'altro sale.

Sullo stesso principio si costrussero dei *pesa-latte*, dei *pesa-vini*, destinati a misurare la quantità di acqua che la frode potesse introdurre in questi liquidi. Ma questi istrumenti non presentano una reale utilità, perchè la densità del latte e del vino essendo variabilissime anche quando questi liquidi sono perfettamente naturali, si potrebbe attribuire alla frode quello che non dipenderebbe da altro che dalla cattiva qualità del latte o del vino. Molti medici fanno pure uso del *pesa-orine*, fondato sullo stesso principio.

111. **Densimetri.** — I *densimetri* sono areometri graduati in modo da far conoscere la densità relativa di un liquido secondo che vi si immergono in un minore o maggior grado. Noi descriveremo quello di Gay-Lussac, e quello recentemente inventato da Rousseau.

1.° *Densimetro o volumetro di Gay-Lussac.* — Il densimetro di Gay-Lussac è interamente simile all'areometro di Baumé rappresentato dalla figura 61; non ne differisce che per la graduazione, la quale varia secondo che l'apparato è destinato pei liquidi più o meno densi dell'acqua. Nel primo caso lo si zavorra in modo che nell'acqua pura si immerga fino ad un punto A (fig. 62) situato all'estremità superiore del cannello. Scegliendo in seguito un liquido la di cui densità sia conosciuta, e maggiore di quella dell'acqua, per esempio, nel rapporto di 4 a 3, vi si immerge l'apparato, il quale discende soltanto fino ad un certo punto B del cannello. Ora se si rappresentano con V e con v i volumi immersi rispettivamente nell'acqua e nel secondo liquido, siccome questi volumi sono in ragione inversa delle densità di questi liquidi (97), si ha

$$\frac{V}{v} = \frac{4}{3}; \text{ da cui } v = \frac{3}{4} V.$$

Se adunque si rappresenta con 100 il volume V, il volume v sarà rappresentato da 75. Per conseguenza, si segnano rispettivamente ai punti A e B i numeri 100 e 75; ed essendo il volume AB, dietro il valore di v, il quarto di V, si divide lo spazio AB in 25 parti eguali, e ciascuna di queste parti è $\frac{1}{25}$ di AB, o $\frac{1}{100}$ di V, vale a dire del volume immerso nell'acqua pura

Fig. 62.

Finalmente, si continuano le divisioni fino alla parte inferiore del cannello, il quale in tutta la sua lunghezza deve essere esattamente dello stesso diametro.

Ciò posto, per conoscere la densità di un liquido, per es., dell'acido solforico, basta immergervi il densimetro, e se affiora alla 54° divisione, significa che il volume del liquido spostato è rappresentato da 54, essendo il volume di acqua V rappresentato da 100. Ora, siccome tutti i corpi galleggianti spostano un peso di liquido eguale al proprio (97), ne segue che il volume di acqua V, o 100, ed il volume d'acido solforico 54, hanno lo stesso peso, quello cioè dell'istrumento; ma, a pesi eguali, i volumi di due corpi sono evidentemente in ragione inversa delle loro densità. Per conseguenza, se si rappresenta con x la densità dell'acido solforico, essendo 1 quella dell'acqua, si ha

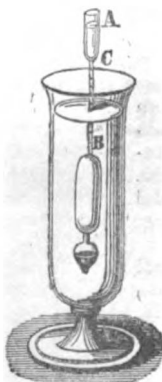
$$\frac{x}{1} = \frac{100}{54}, \text{ da cui } x = \frac{100}{54} = 1{,}85.$$

Se il densimetro è destinato per liquidi meno densi dell'acqua, bisogna zavorrarlo in modo che il punto 100, corrispondente all'acqua distillata, si trovi alla parte inferiore del cannello. Poi si fissa all'estremità superiore di questo un peso che corrisponda al quarto di quello dell'istrumento. Ora essendo il peso dell' istrumento, quando era solo, rappresentato da 100, il suo peso attuale sarà 125. Si segna adunque questo nuovo numero in corrispondenza al nuovo punto di affioramento, quindi si divide l'intervallo compreso fra i punti 100 e 125 in 25 parti eguali, e si continuano le divisioni fino alla sommità del cannello.

2.° *Densimetro di Rousseau.* — Il densimetro di Gay-Lussac richiede una quantità di liquido sufficiente per riempire una provetta di discreta capacità. Ora, in certi casi, per esempio in fisiologia, allorchè si esperimenta sopra liquidi animali, può accadere che non si possa disporre che di qualche grammo di materia. In questo caso, il densimetro di Rousseau dà facilmente la densità. Questo strumento ha la forma dell'areometro di Baumé; ma la sommità del cannello è munita di una piccola capsula A (fig. 63) destinata a ricevere il liquido di cui si cerca la densità. Sulla parete di questa capsula avvi un segno che indica una capacità AC di un centimetro cubo.

Fig. 63 (a. = 30).

Ciò posto, per graduare l'istrumento lo si zavorra in modo che, nell'acqua distillata ed a 4 gradi, il suo punto di affioramento si trovi in B, al principio del cannello; questo punto è lo zero della graduazione. In seguito, si riempie di acqua distillata ed a 4 gradi la capacità di un centimetro cubo, segnata sulla capsula, oppure, ciò che torna lo stesso, vi si pone un peso di un grammo; poi sul nuovo punto di affioramento si segna 20. Si divide allora l'intervallo tra 0 a 20 in 20 parti eguali e si continuano le divisioni fino alla sommità del cannello. Siccome questo è esattamente dello stesso diametro in tutta la sua lunghezza, ciascuna divisione corrisponde ad 1/20 di grammo, ovvero a gr. 0,05.

Dietro questa graduazione, se si vuol avere la densità di un liquido, per es., della bile, se ne riempie la capacità AC segnata sulla capsula, e se l'istrumento affiora a 20 divisioni e mezzo, se ne conchiude che il peso della bile, che è nella capsula, e di gr. $0{,}05 \times 20{,}5$, o gr. 1,025; il che vuol dire, che a volume eguale essendo 1 il peso dell'acqua, quello della bile è 1,025. Quest'ultimo numero rappresenta adunque la densità della bile relativamente all'acqua; perchè, sotto lo stesso volume, i pesi stanno nello stesso rapporto delle densità.

CAPITOLO II.

CAPILLARITA', ENDOSMOSI, ASSORBIMENTO ED IMBIBIZIONE

112. Fenomeni capillari. — Nel contatto dei solidi coi liquidi si produce una serie di fenomeni, ai quali si diede il nome di *fenomeni capillari,* perchè si osservano principalmente nei tubi di un diametro abbastanza piccolo per essere paragonato a quello di un capello. La parte della fisica che ha per oggetto lo studio dei fenomeni capillari si designa col nome di *capillarità.* Tuttavia questa espressione si applica anche alla forza che produce questi fenomeni.

Gli effetti della capillarità sono assai svariati; ma in tutti i casi sono dovuti alla reciproca attrazione delle molecole liquide ed a quella che si esercita fra queste molecole ed i corpi solidi. Tali sono i fenomeni seguenti:

Allorchè si immerge un corpo in un liquido di tal natura che lo possa bagnare, il liquido, come se più non fosse soggetto alle leggi dell'idrostatica, si solleva intorno al corpo solido, e la sua superficie, cessando di essere orizzontale, prende una forma concava, come lo mostra la figura 64.

Se, al contrario, il corpo immerso non è bagnato dal liquido, ciò che ha luogo pel vetro posto a contatto col mercurio, il liquido, invece di elevarsi, si deprime, e la sua superficie prende una forma convessa intorno al corpo immerso, come lo mostra la figura 65. La superficie del liquido assume pure la stessa concavità o convessità intorno alle pareti del vaso che lo contiene secondo che le bagna o non le bagna.

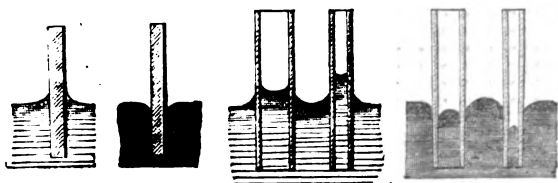



Fig. 64. Fig. 65. Fig. 66. Fig. 67.

Questi fenomeni divengono più apparenti allorchè, invece di un corpo massiccio, si immergono nel liquido dei tubi di vetro di piccolo diametro. Secondo che questi tubi sono o no bagnati dal liquido, si produce un innalzamento od una depressione tanto maggiore, quanto minore è il diametro del tubo (fig. 66 e 67).

Se i tubi sono bagnati dal liquido, la superficie di quest'ultimo prende la forma di un segmento emisferico concavo, detto *menisco concavo* (fig. 66); se non lo sono, allora si ha un *menisco convesso* (fig. 67).

113. **Leggi dell'innalzamento dei liquidi nei tubi capillari.** — Quando le pareti dei tubi siano preventivamente bagnate da un liquido, Gay-Lussac ha verificato coll'esperienza le due leggi seguenti:

1.° *L'ascensione varia colla natura del liquido e colla temperatura, ma essa è indipendente dalla sostanza dei tubi e dalla grossezza delle loro pareti.*

2.° *Per uno stesso liquido, l'innalzamento è in ragione inversa del diametro del tubo finchè questo diametro non sorpassi il limite di 2 millimetri.*

Questa seconda legge è conosciuta sotto il nome di *legge di Jurin*, dal nome di colui che per il primo l'ha fatta conoscere.

Tutte queste leggi si verificano nel vuoto come nell'aria; ma Wolf ha mostrato che quando la temperatura aumenta, l'ascensione dell'acqua nei tubi diminuisce, e può divenire anche nulla o mutarsi in depressione.

114. **Leggi della depressione nei tubi capillari.** — Pei liquidi che non bagnano i tubi, come il mercurio nel vetro, la depressione è ancora in ragione inversa del diametro dei tubi; ma per tubi di egual diametro

questa depressione varia colla natura dei tubi. Per esempio, mentre che, in un tubo di ferro di 1 millimetro di diametro, la depressione è di 1^{mm}, 226, in un tubo di platino di egual diametro, essa non non è che di 0^{mm}, 635. La depressione dipende ancora dalla altezza del menisco convesso del mercurio, altezza che varia molto, a diametro eguale, colla purezza del mercurio, e a seconda che il menisco si è formato durante il movimento ascendente o discendente della colonna mercuriale nel tubo. È più alto nel primo caso che non nel secondo.

Nell'uso di molti apparati è necessario conoscere il valore della depressione del mercurio nei tubi di vetro. La tavola seguente dà queste depressioni in tubi da 2 a 10 millimetri di diametro:

Diametri dei tubi in millimetri.	Depressioni in millimetri.	Diametri dei tubi in millimetri.	Depressioni in millimetri.
2	4,034	6,5	1.030
2,5	3,558	7	0.909
3	2,219	7,5	0,803
3,5	2,442	8	0,712
4	2,068	8,5	0.632
4,5	1,774	9	0,562
5	1,534	9,5	0.500
5,5	1,337	10	0,445
6	1,171		

115. **Leggi dell'innalzamento e della depressione fra due lamine parallele od inclinate.** — Fra due corpi di forma qualunque, immersi in un liquido ed abbastanza ravvicinati, si producono fenomeni analoghi a quelli che presentano i tubi capillari. Se, per esempio, si immergono nell'acqua due lamine di vetro parallele così riavvicinate l'una all'altra che le due curvature formate dal liquido al loro contatto si congiungano, si osserva: 1.° che *l'acqua si innalza regolarmente fra le due lamine, in ragione inversa dell'intervallo che le separa*; 2.° che *l'innalzamento, per un dato intervallo, è la metà di quello che avrebbe luogo in un tubo il cui diametro fosse eguale a quest'intervallo.*

Se le lamine parallele vengono immerse nel mercurio, avvi depressione, anch'essa soggetta alle stesse leggi.

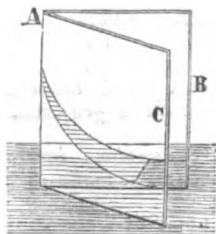



Fig. 68. Fig. 69. Fig. 70.

Se si immergono in un liquido che le bagni due lamine di vetro AB ed AC, inclinate fra loro, come mostra la figura 68, in modo che la loro linea di contatto sia verticale, il liquido s'innalza verso il vertice dell'angolo formato dalle due lamine, e la sua superficie dal punto più

elevato al più basso, prende la forma della curva conosciuta in geometria sotto il nome d'*iperbole equilatera*.

Quando la linea di contatto delle due lamine è orizzontale, come quella che avrebbe luogo nelle lamine rappresentate dalle figure 69 e 70, se venissero prolungate, e quando, nel tempo istesso, l'angolo che formano è assai piccolo, una goccia d'acqua posta tra loro prende alle sue estremità la forma di menisco concavo (fig. 69) e precipita verso il vertice dell'angolo formato dalle due lamine. Se, al contrario, il liquido non bagna le lamine, e ciò avrebbe luogo col mercurio, la goccia piglia la forma di menisco convesso (fig. 70), e si allontana dal vertice dell'angolo.

116. **Attrazioni e ripulsioni risultanti dalla capillarità.** — Alla capillarità sono dovute le attrazioni e le ripulsioni che si osservano fra i corpi galleggianti alla superficie dei liquidi, attrazioni e ripulsioni che sono sottoposte alle seguenti leggi:

Quando i corpi galleggianti sono ambedue bagnati dal liquido, come, per esempio, due palle di sughero nell'acqua, appena che sono riavvicinate in modo che fra di loro più non esista superficie piana, si produce una forte attrazione.

Se dei due corpi non è bagnato nè l'uno nè l'altro, come nel caso di due palle di cera sull'acqua, si osserva ancora una viva attrazione, tosto che sono poste nella stessa condizione suesposta.

Finalmente, se il liquido bagna uno dei due corpi galleggianti e non l'altro, come succede di una palla di sughero e di una palla di cera collocate nell'acqua, si vede che esse si respingono al momento in cui si sono abbastanza avvicinate perchè le due curvature contrarie del liquido si trovino a contatto.

Tutti i fenomeni capillari che abbiamo descritti dipendono dalla curvatura concava o convessa che prende la superficie del liquido al contatto dei corpi. Or, più non resta che a far conoscere la causa che determina la forma di questa curvatura.

117. **Causa della curvatura delle superficie liquide a contatto dei solidi.** — La forma della superficie di un liquido a contatto di un corpo solido deriva dal rapporto che esiste fra l'attrazione del solido sul liquido, e l'attrazione del liquido sopra sè stesso.

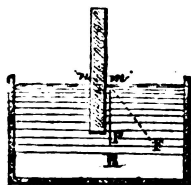
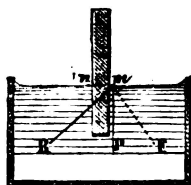
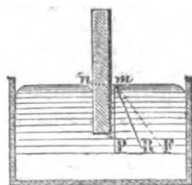



Fig. 71. Fig. 72. Fig. 73.

Infatti sia *m* (fig. 72) una molecola liquida a contatto con un corpo solido. Questa molecola è sottoposta a tre forze: la gravità che la sollecita secondo la verticale mP, l'attrazione del liquido che agisce nella direzione mF, e l'attrazione della lamina che si esercita nella direzione mn. Ora, secondo le intensità rispettive di queste forze, la loro risultante può prendere le tre posizioni seguenti:

1.° Questa risultante può essere diretta secondo la verticale *m*R (fig. 71); allora la superficie in *m* è piana ed orizzontale, perchè secondo le condizioni di equilibrio dei liquidi (86), la loro superficie deve essere perpendicolare alla direzione della forza che sollecita le loro molecole.

2.° Aumentando la forza *n*, o diminuendo la F, la risultante R si dirige entro l'angolo *nm*P (fig. 72); in questo caso, la superficie prende una direzione inclinata perpendicolare ad *m*R, ed è concava.

3.° Aumentando la forza F, o diminuendo la *n*, la risultante R prende la direzione *m*R (fig. 73), entro l'angolo P*m*F, e la superficie disponendosi perpendicolarmente a questa direzione, diviene convessa.

Il calcolo dimostra che nel primo caso, l'attrazione del liquido sopra sè stesso è doppia di quella del solido sul liquido: nel secondo caso, l'attrazione del liquido è minore del doppio di quella del solido; nel terzo caso è maggiore.

118. **Influenza della curvatura del liquido sui fenomeni capillari.** — L'innalzamento o la depressione di un liquido in un tubo capillare dipende dalla forma concava o convessa del menisco. Infatti, se si considera un menisco concavo *abcd* (fig. 74), le molecole liquide di questo menisco, essendo sostenute in equilibrio dalle forze che le sollecitano (117),

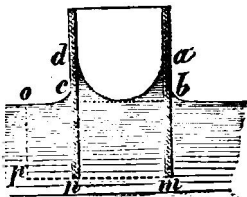
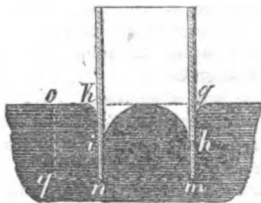



Fig. 74. Fig. 75.

non esercitano alcuna pressione sugli strati inferiori; inoltre, esse agiscono, in virtù dell'attrazione molecolare, sugli strati inferiori più vicini; dal che risulta che sopra uno strato qualunque *mn*, considerato nell'interno del tubo, la pressione è minore di quella che avrebbe luogo se non vi fosse il menisco. Per conseguenza, secondo le condizioni di equilibrio dei liquidi (80 e 86), il liquido deve innalzarsi nel tubo, fino a che la pressione interna sullo strato *mn* sia eguale alla pressione *op* che si esercita esternamente sopra un punto qualunque *p* dello stesso strato.

L'equilibrio sussiste in virtù delle forze molecolari che sollecitano il liquido anche quando il menisco è convesso (fig. 75); ma le molecole, che occuperebbero lo spazio *ghik*, se non vi fosse l'azione capillare, più non agiscono per attrazione sulle molecole inferiori. Ne risulta che la pressione sopra uno strato qualunque *mn*, è maggiore nell'interno del tubo di quello che lo sarebbe se lo spazio *ghik* fosse riempito, perchè le forze molecolari di cui si tratta sono assai più intense della gravità. Il liquido adunque deve abbassarsi nel tubo fintanto che la pressione interna, sopra uno strato *mn*, sia la stessa che in un punto qualunque *q* di questo strato.

La teoria della capillarità, una delle più difficili della fisica, non può essere trattata completamente se non coll'analisi matematica: motivo per cui venne studiata principalmente dai matematici, e soprattutto in Francia, da Clairaut, Laplace e Poisson. Questa teoria, quale noi l'abbiam fatta conoscere, dà ragione dell'innalzamento e della depressione dei liquidi non solo nei tubi, ma anche fra le lamine parallele ed inclinate (114). Essa spiega pure le attrazioni e le ripulsioni che si osservano fra i corpi galleggianti (115).

119. Fatti diversi dipendenti dalla capillarità. — Nel novero dei fenomeni che hanno per causa la capillarità, noi citeremo i seguenti:

Se si ritira con precauzione un tubo capillare immerso in un liquido che lo bagna, si osserva che la colonna liquida, la quale rimane sospesa nel tubo, ha un'altezza maggiore di quella che aveva quando il tubo era immerso. Causa di ciò si è che il tubo porta seco una goccia liquida, la quale aderisce alla sua parte inferiore e vi forma un menisco convesso, il quale concorre col menisco concavo superiore onde sostenere una colonna più alta (118).

Pel medesimo motivo un tubo capillare, immerso in un liquido, non dà luogo ad efflusso, sebbene sia più corto della colonna liquida che tende ad innalzarsi. Questo avviene perchè all'istante in cui il liquido arriva alla sommità del tubo, la sua superficie superiore da concava che era, si fa convessa e, per conseguenza, diventando la pressione maggiore di quella che sarebbe se la superficie fosse piana, il moto di ascesa si arresta.

Si veggono sovente degli insetti che si mantengono alla superficie dell'acqua senza sprofondarvisi. Questo è un fenomeno capillare, perchè non essendo le loro zampe bagnate dal liquido, vi si forma all'intorno una depressione, la quale sostiene gli insetti ad onta del loro peso, nel modo istesso che l'acqua è sostenuta nei tubi. Per una consimile depressione, un sottile ago da cucire, collocato pian piano sull'acqua, rimane alla sua superficie quando sia intonacato di una materia grassa, perchè allora non è bagnato; ma se fu lavato nell'alcool o nella potassa allora va a fondo.

È pure per effetto della capillarità che l'olio s'innalza nei lucignoli delle lampade, e che succede la penetrazione dei liquidi nei legni, nelle spugne ed in tutti i corpi che hanno pori sensibili (15). Finalmente, sotto i nomi di endosmosi, di assorbimento, di imbibizione, faremo ora conoscere altri fenomeni che hanno grande analogia colla capillarità, e che sovente con essa si confondono.

ENDOSMOSI, ASSORBIMENTO ED IMBIBIZIONE

120. Endosmosi ed esosmosi. — Chiamansi *endosmosi* ed *esosmosi* le correnti di direzione contraria, che si stabiliscono fra due liquidi di natura differente quando si trovano separati da un diaframma sottile ed assai poroso, organico od inorganico. Queste espressioni che significano *corrente entrante* e *corrente uscente*, furono adottate da Dutrochet che nel 1826 fece conoscere in modo completo questi fenomeni fino allora assai poco studiati. Queste correnti si constatano mediante l'*endosmometro*. Chiamasi con questo nome un sacco membranoso sormontato da un tubo di vetro un po' lungo, intorno al quale si fa aderire esattamente per mezzo di una legatura (fig. 76). Questo sacco, riem-

pito di una soluzione concentrata di gomma, o di un altro liquido più denso dell'acqua, come il latte, l'albumina, una soluzione di zuccaro, si immerge in un vaso pieno d'acqua. Ben presto si osserva che il livello nel tubo si eleva a poco a poco ad una altezza che può giungere a parecchi decimetri, e si abbassa nel vaso in cui è immerso l'endosmometro; per cui bisogna conchiudere che l'acqua pura è passata attraverso la membrana onde mescolarsi col liquido interno. Si può constatare inoltre, che dopo un certo tempo, l'acqua in cui è immerso l'endosmometro contiene della gomma; adunque si è prodotta una corrente in ambedue i sensi. Questo fenomeno si esprime col dire che vi è endosmosi pel liquido il di cui volume aumenta, ed esosmosi per quello il di cui volume diminuisce. Se si pone acqua pura nel sacco membranoso, e lo si immerge nell'acqua gommata, si produce ancora l'endosmosi dell'acqua pura verso l'acqua gommata, cioè il livello si innalza all'esterno.

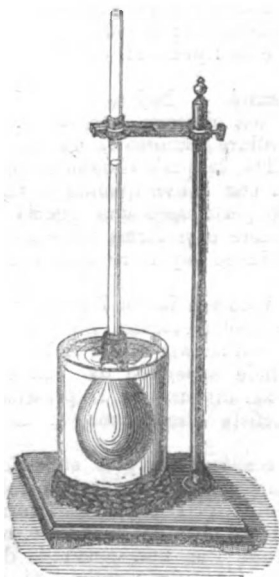



Fig. 76.

L'altezza cui giunge il liquido nell'endosmometro, varia col variare dei liquidi. Fra tutte le sostanze vegetali, quella che a pari densità possiede maggior facoltà d'endosmosi è lo zuccaro sciolto; fra le sostanze animali l'albumina. La gelatina, invece, non possiede che una debolissima forza d'endosmosi. In generale, la corrente d'endosmosi si dirige verso il liquido più denso; tuttavia, fanno eccezione l'alcool e l'etere, che si comportano verso l'acqua come i liquidi più densi. Cogli acidi, secondo che sono più o meno diluiti, succede l'endosmosi dell'acqua verso l'acido o dell'acido verso l'acqua.

Dutrochet constatò che, perchè i fenomeni di endosmosi si producano, bisogna: 1.° che i liquidi siano eterogenei e suscettibili di mescolamento come, per esempio, l'acqua e l'alcool, di modo che coll'acqua e l'olio non si verifica il fenomeno; 2.° che i due liquidi siano di differente densità; 3.° che il diaframma che separa i liquidi sia permeabile almeno ad uno di essi.

Tutte le sostanze vegetali ed animali sono permeabili; riguardo alle sostanze inorganiche, come le ardesie, il grès, la porcellana greggia, la terra da pipa poco cotta, sono tanto meno permeabili, quanta maggior quantità di silice contengono. La terra da pipa, che è più alluminosa della porcellana, è anche più permeabile: è per questo motivo che allappa la lingua.

Attraverso le lamine inorganiche sottili la corrente è debole, ma può continuare indefinitamente. Al contrario, le membrane organiche si disorganizzano prontamente, e l'endosmosi cessa.

Si proposero varie teorie dell'endosmosi. Alcuni l'attribuirono ad una corrente elettrica diretta nel senso stesso dell'endosmosi. Altri ammi-

sero che la causa del fenomeno fosse un'azione capillare congiunta all'affinità dei liquidi. Si opinò pure che l'endosmosi fosse dovuta ad una ineguale viscosità dei liquidi. Infine, si credette che questo fenomeno fosse occasionato dalla maggiore o minore permeabilità delle membrane per tale o tal altro liquido. Nessuna di queste ipotesi spiega l'endosmosi in modo soddisfacente. Comunque sia, il fenomeno sembra intimamente congiunto colle stesse cause che producono la capillarità; si osserva però che l'innalzamento della temperatura, il quale rende più attiva l'endosmosi, indebolisce, invece, i fenomeni capillari.

121. **Endosmosi dei gas.** — I gas presentano dei veri fenomeni di endosmosi. Se due gas di natura diversa si trovano separati da una membrana secca, accade solo una mescolanza, vi sono cioè correnti eguali da ambedue la parti; ma se la membrana è umida, allora avvi vera endosmosi, vi sono cioè correnti ineguali. Per verificare questo fenomeno sperimentalmente, si chiude una vescica piena d'acido carbonico in una seconda vescica più grande contenente ossigeno. Dopo qualche tempo si trova quest'ultima riempita d'acido carbonico; il che mostra esservi endosmosi dall'acido carbonico verso l'ossigeno. Del pari, se si pone sotto una campana piena d'acido carbonico una bolla d'acqua saponata contenente aria, la si vede gonfiarsi.

122. **Assorbimento ed imbibizione.** — Le parole *assorbimento* ed *imbibizione,* in fisica, sono presso a poco sinonimi: tutte e due ugualmente indicano una penetrazione di una sostanza estranea in un corpo poroso. Tuttavia, l'assorbimento si usa indistintamente tanto per le sostanze liquide che pei gas, mentre invece l'imbibizione si adopera specialmente parlando dei liquidi.

In fisiologia si distingue l'assorbimento dall'imbibizione. Nel primo di questi fenomeni avvi penetrazione di una sostanza estranea nei tessuti di un essere vivente; laddove la parola imbibizione si usa quando si vuol esprimere una penetrazione nei corpi inorganici ed organici privi di vita. In una parola, nell'assorbimento sono poste in moto le forze vitali, che nella imbibizione non prendono parte veruna.

123. **Assorbimento dei gas.** — La proprietà di assorbire i gas, nel senso fisico, appartiene a tutti i corpi dotati di pori sensibili (15), in gradi però assai variabili. Questa proprietà si trova principalmente nel carbone di quercia. Spento sotto una campana piena di un dato gas, questo corpo, alla pressione ordinaria, assorbe 90 volte il suo volume di gas ammoniaco, 35 volte il suo volume di gas acido carbonico, e 9 volte il suo volume di ossigeno. Il carbone bagnato ha una proprietà assorbente che è la metà di quella dell'asciutto; il che prova che esso ripete questa sua proprietà dalla porosità, e per conseguenza da un'azione capillare. Il potere assorbente del carbone di abete è la metà di quello del carbone di quercia. Il carbone di sughero, che è molto poroso, non ha facoltà assorbente; lo stesso avviene di quel carbone naturale assai compatto detto grafite. Si conchiude da questo, che sebbene la porosità sia una condizione essenziale dell'assorbimento dei gas, tuttavia la grandezza dei pori deve essere compresa entro certi limiti.

124. **Fenomeni di assorbimento nelle piante.** — Nel regno vegetale l'assorbimento è operato da tutte le parti delle piante, ma principalmente dalle spugnole o fibrille che formano le estremità delle radici, e dalle foglie. Appunto da questi organi vengono l'ossigeno, l'idrogeno, il carbonio e l'azoto, necessari alla nutrizione dei vegetali assorbiti allo stato di acqua, d'acido carbonico e d'ammoniaca.

I liquidi, ed i sali che essi tengono disciolti, sono dapprima assorbiti dalle fibrille, per un doppio fenomeno d'endosmosi e di capillarità; poi il succo, elaborato dal vegetale, aumentando di densità verso le parti superiori, continua ad ascendere ancora per un fenomeno d'endosmosi. Infine, il moto d'ascesa del succo è favorito anche dal vuoto che tende a formarsi nelle parti superiori delle piante per effetto dell'esalazione delle foglie. L'azione capillare poi non può innalzare il liquido che nelle cellule inferiori, e non può produrre correnti.

Il dottore Boucherie, di Bordò, fece una felice applicazione della proprietà assorbente dei vegetali, per introdurre nei tessuti dei legni, dei sali, di cui alcuni loro comunicano dei colori più o meno vivi, altri aumentano la loro flessibilità e la loro tenacità, o li rendono meno combustibili.

125. **Fenomeni d'assorbimento negli animali.** — Negli animali inferiori, i di cui tessuti non sono formati che da cellule, tutto viene assorbito come nei vegetali, per imbibizione e per endosmosi. L'imbibizione, mediante la quale alcuni di questi animali si nutrono, è una vera endosmosi.

Negli animali superiori avvi assorbimento. Per esempio, la robbia, presa internamente da questi animali, penetra nelle loro ossa e le colora in rosso. Del pari, se un liquido vien posto a contatto con una superficie cutanea, privata dell'epidermide, o con una membrana mucosa, in causa della grandissima vascolarità di queste parti, passa nei vasi per un effetto d'endosmosi, il che costituisce l'assorbimento.

Quanto più una sostanza è liquida, tanto più facilmente viene assorbita. Tuttavia, perchè si effettui l'assorbimento, è necessario che i liquidi bagnino le membrane. Infatti, le grasce che non le bagnano, non sono assorbite. Ma Cl. Bernard, riconobbe che esse vengono assorbite facilmente quando ne sia fatta emulsione col succo pancreatico. Recentemente, il dottor Loze osservò che l'olio di fegato di merluzzo, medicamento assai in voga da alcuni anni, emulsionato nel modo istesso, acquista maggiore energia; il che proviene dall'essere il medesimo in tale stato più completamente assorbito.

L'assorbimento, al pari dell'endosmosi, è favorito dal calore; come lo è pure dalle cavate di sangue. In seguito ad un'abbondante traspirazione, o ad un salasso, l'assorbimento aumenta.

LIBRO IV.

DEI GAS

CAPITOLO PRIMO

PROPRIETA' DEI GAS, ATMOSFERA, BAROMETRI

126. **Caratteri fisici dei gas.** — I *gas* o *fluidi aeriformi*, sono corpi le cui molecole posseggono una perfetta mobilità, e si trovano in uno stato continuo di ripulsione che si distingue col nome di *espansibilità*, di *tensione* o di *forza elastica;* il perchè i gas stessi prendono sovente il nome di *fluidi elastici.*

I fluidi elastici si dividono in due classi: i *gas permanenti* o *gas* propriamente detti, ed i *gas non permanenti* o *vapori.* I primi sono quelli che conservano lo stato aeriforme, benchè sottoposti a qualunque pressione ed a qualunque abbassamento di temperatura; tali sono l'ossigeno, l'idrogeno, l'azoto, il biossido di azoto, l'ossido di carbonio e il gas delle paludi. I gas non permanenti, al contrario, passano più o meno facilmente allo stato liquido, sia per un eccesso di pressione, sia pel raffreddamento. Tuttavia, questa distinzione non è rigorosa, perchè un gran numero di gas, che si ritenevano come permanenti, furono liquefatti o da Faraday o da altri fisici, e bisogna ammettere che quelli che nol furono finora, lo sarebbero se venissero sottoposti ad una pressione e ad un freddo sufficienti. Per questo la parola *gas* si usa, in generale, per indicare corpi che, alla pressione ed alla temperatura ordinaria, non si presentano che allo stato aeriforme; mentre per *vapore* si intende lo stato aeriforme che assumono, sotto l'influenza del calorico, alcuni corpi i quali come l'acqua, l'alcool e l'etere, sono liquidi alle pressioni e temperature ordinarie.

I gas al presente conosciuti in chimica sono in numero di 34, di cui 4 sono semplici, cioè: l'ossigeno, l'idrogeno, l'azoto ed il cloro; 7 soli si trovano liberi in natura, cioè: l'ossigeno, l'azoto, l'acido carbonico, il protocarburo ed il bicarburo d'idrogeno, l'ammoniaca e l'acido solforoso. Tutti gli altri non si ottengono che mediante reazioni chimiche.

127. **Forza espansiva dei gas.** — La forza espansiva dei gas, cioè la loro tendenza a prendere sempre un volume maggiore, si dimostra mediante la seguente esperienza. Si colloca sotto il recipiente della macchina pneumatica una vescica a robinetto, contenente una piccola quan-

tità d'aria, e previamente bagnata onde sia più flessibile. Da principio, la forza elastica dell'aria che trovasi sotto il recipiente e quella dell'aria chiusa nella vescica si fanno equilibrio; ma tostochè si incomincia a fare il vuoto, la pressione che si esercita sulla vescica diviene più debole, e questa si gonfia sempre più, come se dentro vi si soffiasse (fig. 77); ciò che dimostra la forza elastica del gas in essa contenuto. Se in seguito si lascia rientrare l'aria esterna, per mezzo di un robinetto a ciò destinato, si scorge che la vescica, compressa di nuovo dal gas rientrante, riprende il suo volume primitivo. In egual modo si può constatare la forza elastica di qualunque gas.

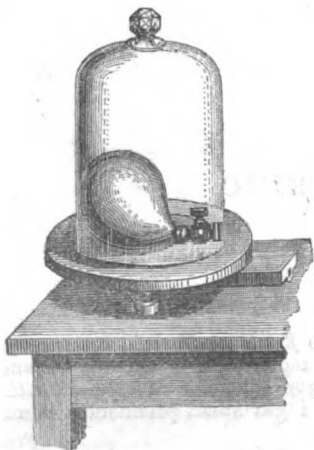



Fig. 77.

Sembra che un gas qualunque, contenuto in un vaso aperto, in virtù della sua forza espansiva, dovrebbe sfuggirsene istantaneamente. Questo infatti accadrebbe, se il vaso si trovasse nel vuoto; ma nelle ordinarie circostanze, la pressione dell'aria si oppone all'uscita del gas. Tuttavia, questo avviene solo quando il fluido elastico contenuto nel vaso è pur esso aria. Infatti, l'esperienza dimostra che non si può far equilibrio alla forza espansiva di un gas, se non mediante la pressione esercitata da una massa gasosa della stessa natura. Per es., la pressione dell'aria non può fare equilibrio alla forza espansiva dell'idrogeno o dell'acido carbonico. Questi gas, in tal caso, non isfuggono come farebbero nel vuoto, ma si mescolano rapidamente col fluido esterno.

Dimostreremo in seguito che la forza elastica dei gas è sempre uguale e contraria alla pressione che sopportano, e cresce colla temperatura.

128. **Peso dei gas.** — Per la loro estrema fluidità, e specialmente per la loro espansibilità, i gas sembrano sfuggire alle leggi della gravità; ma codesti fluidi tanto sottili obbediscono a questa forza, come i solidi e i liquidi. Per constatare codesto fatto, si sospende al giogo di una bilancia sensibilissima un pallone di vetro di 3 a 4 litri, il cui collo è armato di un robinetto che chiuda ermeticamente (fig. 78). Si pesa dapprima questo pallone pieno di aria; poi dopo d'avervi fatto il vuoto col mezzo della macchina pneumatica, lo si pesa nuovamente, e si trova che la seconda pesata è inferiore alla prima di più grammi; ciò che fa conoscere il peso dell'aria tolta dal pallone.

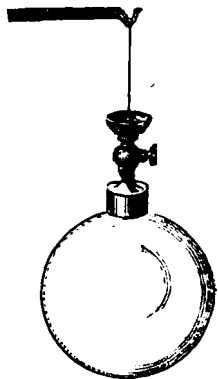



Fig. 78.

Se si sia preventivamente determinata la capacità del pallone in litri, si trova, con questo processo, che un litro d'aria pura, alla temperatura di zero e sotto la pressione atmosferica

di $0^m,76$ (138), pesa gr. 1,293, o, approssimativamente, gr. 1, 3. Un litro di idrogeno, che è il più leggero fra i gas, pesa gr. 0,09, cioè circa 14 volte e mezzo meno dell'aria; un litro di gas iodidrico che è il più denso dei gas, pesa gr. 5,776.

129. **Densità dell'aria rapporto all'acqua.** — Un litro di aria pesando gr. 1,293, e un litro di acqua gr. 1000, se si divide il primo peso per il secondo, si ha per quoto la densità dell'aria rapporto all'acqua (101), quoziente che è 0,001293. Questo numero essendo 773 volte minore dell'unità che, come si sa, è la densità dell'acqua, se ne conclude che l'acqua, a volume uguale, pesa 773 volte l'aria, quest'ultima essendo presa alla temperatura di zero e alla pressione atmosferica di $0^m,76$, e l'acqua presa alla temperatura di 4 gradi.

Il numero 0,001293, che rappresenta la densità dell'aria riguardo all'acqua, trova la sua applicazione in molti problemi; è facile ricordarselo, giacchè si deduce dal numero gr. 1,293, trasportando la virgola di tre ranghi verso la sinistra.

130. **Pressioni esercitate dai gas.** — I gas esercitano sulle molecole della loro massa e sulle pareti dei vasi che li contengono, delle pressioni che si ponno considerare sotto due punti di vista: 1.° facendo astrazione dalla gravità; 2.° tenendo conto dell'azione di questa forza. Se in una massa gasosa, in equilibrio in un vaso, si fa astrazione dal suo peso, per non aver riguardo che alla forza espansiva, le pressioni dovute a questa forza si trasmettono colla stessa intensità sopra tutti i punti delle pareti e della massa fluida; perchè la forza ripulsiva che si esercita fra le molecole è la stessa in tutti i punti, ed agisce ugualmente in tutte le direzioni, il che è conseguenza dell'elasticità e della perfetta fluidità dei gas. Ma se si ha riguardo all'azione della gravità, questa forza fa nascere delle pressioni sottoposte interamente alle stesse leggi di quelle dei liquidi (80): esse crescono cioè proporzionalmente alla densità del gas ed alla profondità; sono costanti sopra uno stesso strato orizzontale, ed indipendenti dalla forma che assume la massa gasosa. La forza espansiva del gas è allora in ciascun punto eguale e contraria alla pressione che il gas istesso sopporta, e per conseguenza cresce colla profondità. Per una piccola massa gasosa, le pressioni che risultano dal suo peso, sono assai deboli, e ponno essere trascurate; ma per le grandi masse, come l'atmosfera, le pressioni dovute alla gravità ponno essere considerevoli e importa di tenerne conto.

131. **Principio di Pascal e principio di Archimede applicabili ai gas.** — Riassumendo quanto è stato detto, si trova una grande analogia tra i gas e i liquidi. Come in questi ultimi, le molecole dei gas possedono una estrema mobilità, ragione per cui questi corpi, come i liquidi, non affettano alcuna forma propria, e prendono istantaneamente, in virtù della loro forza espansiva, quella del vaso che li contiene, occupando sempre tutta la sua capacità e non soltanto la parte inferiore, come tendono a fare i liquidi.

Dalla analogia di costituzione tra i gas e i liquidi, risulta anche che i gas, come i liquidi, trasmettono le pressioni in tutti i sensi, colla stessa intensità, sulle pareti dei vasi e sui corpi immersi nella loro massa; vale a dire che: *sono soggetti al principio di Pascal* (79). Finalmente con un ragionamento identico a quello che è stato fatto pei liquidi (94), si riconosce che *il principio di Archimede è esso pure applicabile ai gas,* ciò che d'altronde sarà fra breve dimostrato sperimentalmente col mezzo del *baroscopio* (167).

A lato di questa analogia tra i gas e i liquidi si presentano delle differenze marcatissime: 1.° mentre i liquidi sono appena compressibili, i gas, invece, sono dotati di una compressibilità considerevole, sottoposta ad una legge regolare che sarà dimostrata fra poco (152); 2.° i gas sono caratterizzati da una forza espansiva alla quale non si sanno stabilire limiti, proprietà che non presentano i liquidi; 3.° finalmente, è osservabile che i gas hanno tutti una densità debolissima, mentre i liquidi formano una classe di corpi a densità molto maggiore.

132. **Travasamento dei gas.** — Come i liquidi, i gas possono venir travasati da uno in altro recipiente. L'esperienza riesce molto bene coll'acido carbonico che è molto più denso dell'aria. Si comincia dal riempire una campanella di questo gas raccogliendovelo con una vaschetta idropneumatica; poi prendendo una seconda campanella di eguale capacità e piena di aria, si rovescia la prima al disopra come mostra la figura 79, e si tengono alquanto tempo immobili. In virtù del suo eccesso di densità, l'acido carbonico discende lentamente dalla campanella *m* nella campanella *n*, dalla quale scaccia l'aria; in modo che ben presto la campanella *n* è piena di acido carbonico e la *m* di aria. Si constata il fatto appoggiandosi sulla proprietà dell'acido carbonico di spegnere i corpi in combustione. Infatti, prima della esperienza una candela accesa brucia nella campanella *n* e si spegne nell'altra, mentre dopo l'esperienza accade il contrario.

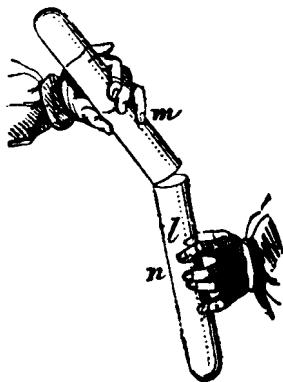



Fig. 79.

133. **Atmosfera, sua composizione.** — Si dà il nome di *atmosfera* alla massa d'aria che avvolge il nostro globo, e si muove con esso nello spazio.

L'aria era riguardata dagli antichi come uno dei quattro elementi che essi ammettevano. La chimica moderna dimostrò che è una mescolanza di azoto e di ossigeno, nel rapporto, in volume, di 20,80 d'ossigeno a 79,20 d'azoto, ed in peso di 23,01 d'ossigeno per 76,99 d'azoto.

Trovasi pure nell'atmosfera del vapore d'acqua in quantità variabile a seconda della temperatura, delle stagioni, dei climi e della direzione dei venti. Finalmente, l'aria contiene da 3 a 6 diecimillesimi, in volume, di gas acido carbonico.

L'acido carbonico dell'aria proviene dalla respirazione degli animali, dalle combustioni e dalla decomposizione delle sostanze animali. Secondo Boussingault, in Parigi, nello spazio di 24 ore, si produce approssimativamente la quantità d'acido carbonico seguente:

Dalla popolazione e dagli animali . .	336,777	metri cubi.
Dalle diverse combustioni	2,607,864	— —
Totale	2,944,641	metri cubi.

Malgrado questa produzione permanente di acido carbonico alla superficie del globo, la composizione dell'atmosfera non sembra punto modificarsi, perchè, nell'atto della vegetazione, le parti verdi dei vegetali, sotto l'influenza della luce solare, decompongono l'acido carbonico, se ne assimilano il carbonio e restituiscono così all'atmosfera l'ossigeno che gli è costantemente tolto dalla respirazione degli animali e dalle combustioni.

134. **Pressione atmosferica.** — Siccome l'aria è pesante, ne viene che, se si immagina l'aria divisa in istrati orizzontali, gli strati superiori, pel loro peso, comprimono gli inferiori: e siccome questa pressione decresce evidentemente col numero degli strati, così l'aria è tanto più rarefatta, quanto più si innalza nell'atmosfera.

Sembra che le molecole dell'atmosfera, in virtù della forza espansiva dell'aria, dovrebbero diffondersi indefinitamente negli spazi planetari. Ma per l'effetto stesso della dilatazione, la forza espansiva dell'aria decresce sempre più; essa è inoltre indebolita dalla bassa temperatura delle alte regioni dell'atmosfera, di modo che giunge un momento in cui si stabilisce l'equilibrio fra la forza espansiva delle molecole dell'aria e l'azione della gravità che le sollecita verso il centro della terra: da ciò si conchiude che l'atmosfera deve essere limitata.

Fig. 80.

L'altezza dell'atmosfera, dal suo peso, dal suo decremento di densità e dall'osservazione dei fenomeni crepuscolari, si valuta dai 50 ai 60 chilometri. Al di là di questa altezza avvi un'aria assai rarefatta, ed a 100 chilometri circa si ammette un vuoto assoluto.

Dietro recenti osservazioni fatte nella zona intertropicale, e particolarmente a Rio-Janiero, sugli archi crepuscolari e sul limite della polarizzazione atmosferica, il Liais ammette che l'altezza dell'atmosfera sarebbe di 320 a 340 chilometri, altezza che differisce considerevolmente da quella ammessa sin qui. L'osservazione delle altezze alle quali appariscono i *bolidi*, corpi erranti che si infiammano penetrando nell'atmosfera, conduce essa pure ad ammettere per altezza di quest'ultima un valore approssimativo a quello assegnatogli da Liais.

Poichè si riconobbe precedentemente (128) che un litro di aria pesa $1^{gr},3$, bisogna conchiudere che l'intera atmosfera deve esercitare, sulla superficie del globo, una pressione considerevole, pressione la di cui esistenza si dimostra mediante le esperienze seguenti.

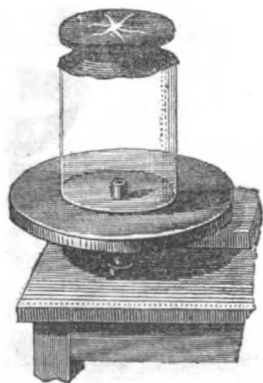
135. **Crepa-vescica, emisferi di Magdeburgo.** — Il *crepa-vescica* consiste in un ampio tubo di vetro chiuso esattamente alla sua parte superiore, da una membrana di vescica. L'altra estremità, i di cui orli sono assai lisci ed unti di sego, si applica sul piatto della macchina pneumatica (fig. 80). Appena che si incomincia a fare il vuoto nel tubo, la membrana si deprime sotto la pressione atmosferica che sopporta, e tosto crepa con una forte detuonazione cagionata dal subito rientrare dell'aria.

Gli *emisferi di Magdeburgo*, dovuti ad Ottone de Guéricke, e così chiamati dalla città ove furono inventati, consistono in due emisferi cavi d'ottone del diametro di 10 a 12 centimetri (fig. 81). I loro orli sono guerniti di una lista annulare di cuoio, spalmata accuratamente di sego, affine di mantenere il vuoto quando questi orli sono posti a contatto. Uno degli emisferi porta un robinetto che si può fissare a vite sul piatto della macchina pneumatica, e l'altro un anello che serve di impugnatura per afferrarlo, ed esercitare così una trazione. Fintanto che i due emisferi, posti a contatto, racchiudono aria, si ponno separare senza

Fig. 81.

Fig. 82.

difficoltà, perchè vi è equilibrio fra la forza espansiva dell'aria interna e la pressione esterna dell'atmosfera. Ma, una volta fatto il vuoto, non si ponno più disgiungere senza un potente sforzo, in qualunque posizione si tenga l'apparato (fig. 82); il che dimostra che la pressione atmosferica si esercita in tutti i sensi.

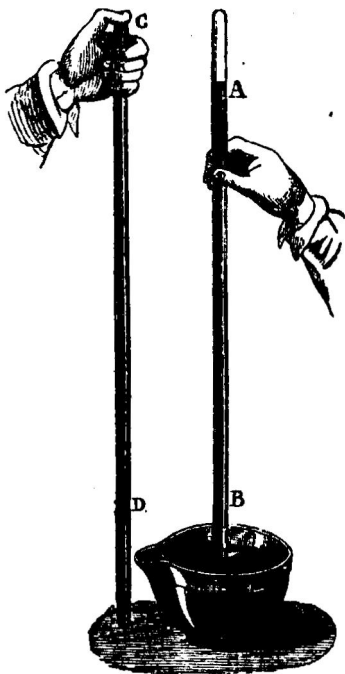
MISURA DELLA PRESSIONE ATMOSFERICA; BAROMETRI

136. **Esperienza di Torricelli.** — Le due esperienze precedenti dimostrano l'esistenza della pressione atmosferica, ma non ne fanno conoscere il valore. La seguente, fatta per la prima volta, nel 1643, da Torricelli, discepolo di Galileo, dà la misura esatta del peso dell'atmosfera.

Si prende un tubo di vetro, lungo per lo meno 80 centimetri, di un diametro interno di 5 a 6 millimetri, e chiuso ad una delle sue estremità. Dopo di aver situato questo tubo in una posizione verticale CD (fig. 83), lo si riempie interamente di mercurio; poi chiudendo l'apertura C col pollice, si capovolge il tubo, e se ne immerge l'estremità

aperta in una vaschetta piena di mercurio. Ritirando allora il dito, la colonna di mercurio tosto si abbassa di parecchi centimetri, e conserva, al livello dei mari, una altezza AB, il cui medio valore è di 76 centimetri.

Fig. 83.

Per spiegarci come questa colonna di mercurio resti così sospesa nel tubo, si sa, il tubo e la vaschetta rappresentando due vasi comunicanti, che l'equilibrio non si stabilisce, se non quando la pressione sia la stessa su tutti i punti di uno stesso strato orizzontale (86). Ora, la superficie libera del mercurio nella vaschetta, è la sola pressione atmosferica che sopporta; mentre allo stesso livello nell'interno del tubo, è la pressione dovuta alla colonna di mercurio che vi è sospeso, ed è proprio soltanto codesta pressione che si esercita, giacchè in A, al disopra del mercurio s'è formato il vuoto. Perciò, giacchè v'ha equilibrio, le pressioni interna ed esterna sono eguali; se ne conchiude che la pressione atmosferica equivale, ad eguaglianza di superficie, a quella esercitata da una colonna di mercurio di 76 centimetri di altezza. Ma se il peso dell'atmosfera aumenta o diminuisce si prevede tosto che lo stesso deve accadere della colonna di mercurio AB.

137. **Esperienza di Pascal.** — Pascal, volendo constatare se la forza che sosteneva il mercurio nel tubo di Torricelli fosse veramente la pressione atmosferica, ricorse alle due esperienze seguenti: 1.° Prevedendo che la colonna di mercurio doveva abbassarsi nel tubo, a misura che lo si innalzasse nell'atmosfera, perchè in tal caso la pressione diminuisce, pregò un suo parente, abitante l'Alvernia, affinchè ripetesse, sul Puy-de-Dôme, l'esperienza di Torricelli. Ora, la colonna di mercurio diminuì di circa 8 centimetri, ciò che dimostra essere veramente il peso dell'atmosfera che sostiene la colonna di mercurio nel tubo, perchè se questo peso diminuisce, lo stesso avviene della colonna di mercurio. 2.° Pascal ripetè l'esperienza di Torricelli a Rouen, nel 1646, con un liquido diverso del mercurio. Ei prese un tubo della lunghezza di 15 metri, chiuso ad una estremità; lo riempì di vino rosso, e capovolto lo dispose verticalmente in un serbatoio pieno dello stesso liquido; allora osservò che il liquido si arrestava, nel tubo, ad un'altezza di circa $10^m,40$ cioè 13,6 volte quella del mercurio; ora, essendo il vino rosso 13,6 volte meno denso del mercurio, il peso della colonna di vino era eguale a quello della colonna di mercurio nell'esperienza di Torricelli (136); era dunque veramente la pressione atmosferica che sosteneva successivamente i due liquidi.

138. Valore della pressione atmosferica in chilogrammi. — Dall'altezza alla quale rimane in equilibrio il mercurio nel tubo di Torricelli, si può facilmente valutare, in chilogrammi, la pressione dell'atmosfera sopra una data superficie. A tal uopo, ammettiamo che la sezione interna del tubo sia esattamente di un centimetro quadrato: la colonna di mercurio che è nel tubo, avendo allora la forma di un cilindro di un centimetro quadrato di base, e di 76 centimetri di altezza, il suo volume sarà di 76 centimetri cubi, poichè si sa che un cilindro ha per misura il prodotto della sua base per la sua altezza. Ora, se un centimetro cubo di acqua pesa un grammo, un centimetro cubo di mercurio dovrà pesare 13^{gr},6, essendo questo liquido 13,6 volte più denso dell'acqua: dal che si conchiude che il peso della colonna di mercurio nel tubo che noi consideriamo, equivale a 13^{gr},6 moltiplicati per 76, ossia a 1033 grammi, o, ciò che è lo stesso, ad 1 chilogrammo e 33 grammi. Adunque sopra 1 decimetro quadrato, che contiene 100 centimetri quadrati, la pressione atmosferica è di 103^{ch},300^{gr}, e sopra 1 metro quadrato, ossia 100 decimetri quadrati, è di 10 330^{ch}.

La superficie totale del corpo umano, in un individuo di statura e grossezza ordinaria, è di un metro quadrato e mezzo: dunque la pressione media, che sopporta un uomo alla superficie della terra, è di 15 500 chilogrammi. Parebbe che una pressione così grande ci dovesse schiacciare: ma il nostro corpo vi resiste per la reazione dei fluidi elastici che esso racchiude. Le nostre membra non ne sono guari incomodate nei loro movimenti, perchè la pressione atmosferica si esercita in tutte le direzioni, e noi sopportiamo, in tutti i sensi, delle pressioni uguali e contrarie che si fanno equilibrio, e sono più atte a reggerci che ad incomodarci. Infatti nei giorni in cui la pressione atmosferica è più debole noi proviamo un mal essere che manifestiamo col dire che il *tempo è pesante;* bisognerebbe dire il contrario.

139. Specie diverse di barometri. — Chiamansi *barometri* alcuni istrumenti atti a misurare la pressione atmosferica. Nei barometri ordinari questa pressione è misurata dall'altezza di una colonna di mercurio in un tubo di vetro, come nell'esperienza di Torricelli; di tal genere sono i barometri che passiamo a descrivere e che si dividono in *barometri a vaschetta,* *barometri a sifone* e *barometri a quadrante.* Si costruiscono però anche barometri senza mercurio. Tale è quello di Bourdon (161), che faremo conoscere in seguito, e che è rimarchevole per la sua semplicità e pel suo volume.

140. Barometro a vaschetta. — Il *barometro a vaschetta* si compone di un tubo diritto di vetro, della lunghezza di circa 85 centimetri, pieno di mercurio, ed immerso, coll'estremità inferiore, in una vaschetta, piena essa pure dello stesso metallo. Tale è l'apparato già descritto sotto il nome di *tubo di Torricelli* (fig. 83). Colla mira di rendere il barometro più portatile e meno sensibili le variazioni di livello

Fig. 84.

nella vaschetta, allorchè il mercurio si innalza o si abbassa nel tubo, si variò di molto la forma della vaschetta stessa. La figura 84 rappresenta un barometro di questo genere, che si può trasportare con facilità.

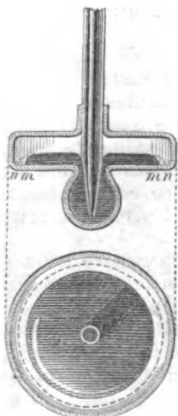
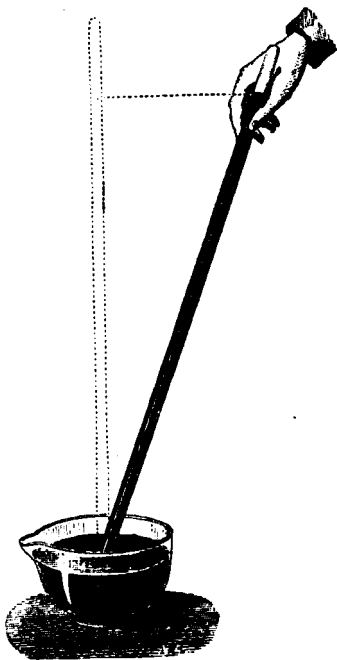
La vaschetta è divisa in due scompartimenti disuguali *m* ed *n*, il più grande de' quali è unito con mastice al tubo, e non comunica coll'atmosfera che mediante una piccola apertura ricoperta da un disco di pelle *a*, che si vede rappresentato sulla parete superiore della vaschetta vicino al tubo. Lo scompartimento più piccolo *n* è situato al disotto del primo, ed è riempito completamente di mercurio, mentre il primo non lo è che in parte. Questi due scompartimenti sono riuniti da una tubulatura stretta nella quale si impegna la parte inferiore del tubo barometrico A. Quest'ultimo non chiude la tubulatura che congiunge gli scompartimenti, ma lascia, fra le pareti di questa e le sue, uno spazio abbastanza piccolo perchè la capillarità non lasci sfuggire il mercurio del piccolo scompartimento allorchè si inclina o si capovolge il barometro; per tal modo, in qualunque posizione, la punta affilata del tubo si trova sempre immersa nel mercurio, e l'aria per conseguenza non vi può penetrare.

Tutto l'apparato è fissato su di una tavoletta di acaiù, che porta, alla parte superiore, una scala graduata in millimetri. Questa graduazione comincia dal livello del mercurio nella vaschetta; ma non se ne segna che la parte superiore, la parte inferiore essendo inutile nelle condizioni ordinarie di pressione atmosferica. Finalmente un corsoio *i*, che può scorrere lungo il tubo, è sollevato dall'osservatore fino a che affiori mediante il mediante suo spigolo superiore col menisco convesso del mercurio (112): si legge allora, sulla scala, l'altezza corrispondente della colonna mercuriale.

Codesto barometro come tutti quelli di questo genere, offre poca precisione, per ragione che lo zero della scala non corrisponde invariabilmente al livello del mercurio nella vaschetta. Infatti, la pressione dell'atmosfera non essendo costante, codesto livello varia ogniqualvolta questa pressione aumenta o diminuisce; giacchè in questi casi una certa quantità di mercurio passa dalla vaschetta nel tubo o da questo in quella: d'onde risulta che nella maggior parte dei casi, lo zero della scala è al disopra od al disotto del livello del mercurio nella vaschetta, e che, per conseguenza, l'altezza osservata è troppo piccola o troppo grande. Si diminuisce questa causa di errore facendo uso di una vaschetta che pur contenendo piccola quantità di mercurio, presenti una grande superficie (fig. 85); specialmente se il mercurio non si distende su tutto il fondo del compartimento *nn*, ma solamente sulla parte centrale. Infatti se la pressione diminuisce, alquanto mercurio passando nella vaschetta, il liquido non fa in tal caso che sempreppiù distendersi, per esempio da *m* in *n*, ma conserva sensibilmente lo stesso livello: egualmente sarebbe per il caso che una piccola quantità di mercurio passi dalla vaschetta nel tubo. Tuttavia non è che coi barometri che stiamo per descrivere che si ottengono realmente delle misure precise.

Qualunque sia il barometro di cui si faccia uso, osserviamo fin d'ora che l'*altezza* è sempre la *distanza verticale* del livello del mercurio nella vaschetta al livello nel tubo. Ragione per cui il barometro deve sempre essere perfettamente verticale; altrimenti il tubo essendo inclinato, la colonna di mercurio si allunga (fig. 86), e il numero che si legge sulla scala è troppo grande.

Siccome la pressione che il mercurio esercita per il suo peso, alla base del tubo, è indipendente dalla forma di quest'ultimo e dal suo diametro (82), ogniqualvolta esso non sia capillare, l'altezza del barometro è dessa pure indipendente dal diametro del tubo e dalla sua

Fig. 85. Fig. 86.

forma diritta o curva; ma questa altezza è in ragione inversa della densità del liquido. Col mercurio, l'altezza media, al livello dei mari, è di $0^{m},76$; in un barometro ad acqua essa sarebbe di $10^{m},33$.

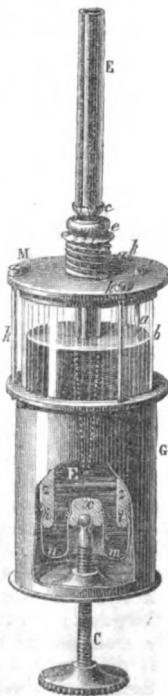
141. **Barometro di Fortin.** — Il *barometro di Fortin*, così chiamato dal nome del suo inventore, è un barometro a vaschetta; ma quest'ultimo differisce però da quella del barometro già descritto (140). Il fondo ne è di pelle di daino e può innalzarsi od abbassarsi mediante una vite di pressione collocata al disotto, ciò che offre due vantaggi: quello di poter ottenere un livello costante nella vaschetta, e quello di rendere più portatile lo strumento. Infatti, per trasportarlo in viaggio, basta sollevare la pelle di daino fino a che il mercurio innalzandosi con essa, riempisca completamente il tubo e la vaschetta; allora si può inclinare ed anche capovolgere il barometro senza timore che vi entri aria, o che l'urto del mercurio spezzi il tubo.

La figura 87 rappresenta l'insieme di questo barometro, il cui tubo è chiuso in un astuccio di ottone destinato a difenderlo. Quest'astuccio,

verso la sua parte superiore, presenta due fessure longitudinali, opposte l'una all'altra, onde lasciar scorgere il livello B del mercurio. Sull'astuccio è segnata una scala graduata in millimetri. Un corsoio A che si fa scorrere a mano, fornisce, mediante un verniero, l'altezza del barometro a mano di $^1/_{10}$ di millimetro. Alla parte inferiore dell'astuccio, è fissata la vaschetta *b* che contiene il mercurio O.

Fig. 88. Fig. 87.

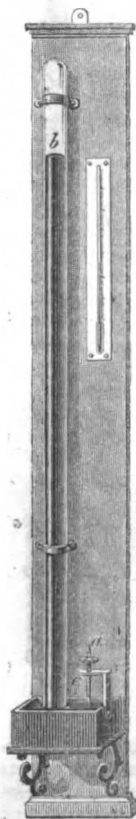
La figura 88 rappresenta, in maggiori proporzioni, i particolari della vaschetta. Questa è formata da un cilindro di vetro *b*, di 4 centimetri di diametro circa per 3 d'altezza. Questo cilindro è chiuso, alla sua parte superiore, da un disco di legno fissato al disotto del coperchio di ottone M. Al centro del disco e del coperchio s'impegna il tubo barometrico E, il quale termina con una punta affilata che si immerge nel mercurio della vaschetta. Quest'ultima e il tubo sono collegati col mezzo di una pelle di daino *ce* che due forti ligature fissano, l'una, in *c*, ad una scanalatura praticata sul tubo; l'altra, in *e*, ad una tubulatura di ottone fissata al centro del coperchio. Questa chiusura basta per impedire l'uscita del mercurio quando si rovescia lo strumento, ma essa non si oppone all'azione della pressione atmosferica, la quale si trasmette benissimo, attraverso i pori della pelle di daino, al mercurio della vaschetta.

Alla sua parte inferiore, il cilindro di vetro *b* è masticato su di un cilindro di legno *zz*, ed è sul contorno di quest'ultimo, in *ii*, che è fortemente fissata, col mezzo di una ligatura, la pelle di daino *mn* che forma il fondo della vaschetta. Col suo centro, questa pelle si unisce ad un bottone di legno *x*, il quale riposa sull'estremità della vite C. Quando si gira questa vite in un senso o nell'altro, il bottone s'innalza o s'abbassa e con esso la pelle *mn*. Ora, contemporaneamente innalzandosi od abbassandosi il mercurio, quando si vuol fare una osservazione si gira la vite fino a che la superficie del liquido giunga ad una punta di avorio *a*, fissata al coperchio M, e visibile attraverso al vetro. Siccome la superficie del mercurio lucida, fa ufficio di specchio, vi si vede l'immagine rovesciata della punta *a*, ed è propriamente quando quest'ultima e le sue immagini sono tangenti, come mostra il disegno che si raggiunge il livello conveniente; gli è cominciando dalla punta *a* che si conta la graduazione della scala barometrica. Finalmente un'armatura di ottone G inviluppa tutta la parte inferiore della vaschetta. Tre aste a vite *k*,*k*,*k*, si collegano saldamente al coperchio M.

Si sospende ordinariamente il barometro di Fortin a un trepiedi, col mezzo della doppia sospensione di Cardano, che sarà descritta parlando della bussola di inclinazione; in codesto modo lo strumento si dispone esattamente nella posizione verticale.

142. **Barometro fisso.** — Per le osservazioni che si fanno in laboratorio e che richiedono una grande precisione, Regnault, nei suoi importanti lavori sui gas e sui vapori, ha fatto uso di un barometro fisso di cui misurava l'altezza col catetometro (69). Perciò, essendo la vaschetta una cassa rettangolare di ferraccio, si adatta alla sua parete un'asta portante una madrevite *e* (fig. 89). In questa si impegna una vite terminata in punta alle sue due estremità, e la cui lunghezza è stata determinata una volta per sempre col catetometro. Ciò posto, per misurare l'altezza barometrica, si comincia dal girare la vite in un senso o nell'altro, fino a che la sua punta affiori alla superficie del mercurio nella vaschetta; ciò che ha luogo, come nel barometro di Fortin, quando la punta e la sua immagine sono in contatto. Se si misura, allora, col mezzo del catetometro, la distanza verticale della punta *a* della vite dal livello *b* del mercurio nel tubo, e che si aggiunga a questa distanza la lunghezza della vite, si ha la altezza barometrica con una grande precisione. Questo barometro presenta inoltre il vantaggio di poter essere costrutto con un tubo di un diametro interno di 2 $^1/_2$ a 3 centimetri; diametro pel quale la depressione capillare non è più sensibile. Finalmente questo barometro è di una costruzione semplicissima, e non presenta alcuna causa di errore circa la posizione della sua scala, poichè questa è trasportata sul catetometro; sgraziatamente quest'ultimo, è uno strumento costoso.

Fig. 89.

143. **Barometro a sifone di Gay-Lussac.** — Il *barometro a sifone* consiste in un tubo di vetro curvato in due rami ineguali: il ramo più lungo è chiuso alla sua estremità, e riempito di mercurio come nel barometro a vaschetta; il più corto è aperto e tien luogo di vaschetta. La differenza di livello nei due rami è l'altezza del barometro.

La figura 90 rappresenta il barometro a sifone quale venne modificato da Gay-Lussac. Questo fisico, onde rendere più facile il trasporto dello strumento in viaggio senza che vi possa penetrare aria, congiunse i due rami mediante un tubo capillare rappresentato nella figura alla parte inferiore del barometro. Allorchè si capovolge lo strumento, questo tubo, a cagione della capillarità, rimane sempre pieno, e l'aria non può penetrare nel ramo più lungo. Tuttavia, sotto un urto repentino, la colonna di mercurio che trovasi nel tubo capillare, può dividersi e lasciar passare dell'aria. Per ovviare a questo inconveniente, Bunten adottò la modificazione rappresentata dalla figura 91. Il tubo capillare invece di essere saldato al ramo più lungo, lo è ad un tubo K, di grande diametro, nel quale penetra questo braccio in forma di punta affilata. Mediante questa disposizione, se passano delle bolle d'aria nel tubo capillare, non ponno

entrare nella punta affilata del tubo, e vengono quindi a collocarsi in K nella parte più elevata del ringonfiamento, come mostra la figura; là esse non nuocono per nulla allo strumento, poichè alla sommità del tubo esiste sempre il vuoto.

Nel barometro di Gay-Lussac, il ramo corto del tubo è chiuso alla sua estremità superiore, e non porta che una piccola apertura laterale *a*, attraverso la quale agisce la pressione atmosferica.

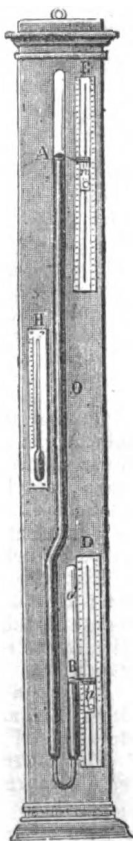
La misura dell'altezza si ottiene mediante due scale aventi lo zero comune in O, verso la metà del ramo più lungo, e graduate in senso contrario, l'una da O verso E, l'altra da O verso B, sopra due regoli di ottone paralleli al tubo barometrico. Due corsoi a verniero *m* ed *n*, ponno scorrere sulla scala in modo da indicare il numero dei millimetri e dei decimi di millimetro contenuti da O in A e da O in B. Sommando poi i due numeri così ottenuti, si ha l'altezza totale AB.

La figura 90 rappresenta il barometro di Gay-Lussac fisso ad una tavoletta di acaiù, onde render più facile la dimostrazione. Ma per viaggiare, lo si rinchiude in un astuccio di ottone simile a quello del barometro di Fortin (fig. 87), meno la vaschetta.

144. Condizioni alle quali deve soddisfare un barometro. — Nella costruzione di un barometro, si deve scegliere il mercurio, a preferenza di qualunque altro liquido, giacchè questo essendo il più denso dei liquidi, assume minore altezza; ma merita questa preferenza anche per ragione della sua debole volatilità e perchè non bagna il vetro. È necessario che il mercurio sia perfettamente puro ed esente da ossido: altrimenti *fa la coda,* vale a dire aderisce al vetro e lo appanna. Di più, se è impuro, la sua densità è cangiata, e la sua altezza nel barometro è troppo grande o troppo piccola.

Fig. 91.

Fig. 90.

In qualunque barometro, bisogna che lo spazio vuoto che si trova alla sommità del tubo (fig. 89 e 90), e che si chiama *camera barometrica* o *vuoto di Torricelli,* sia completamente priva di aria e di vapore d'acqua, altrimenti questi fluidi, in virtù della loro forza elastica, deprimerebbero la colonna di mercurio. Per ottenerò questi risultati è necessario far bollire il mercurio nel tubo stesso, cie che si pratica nel modo seguente: si salda all'estremità aperta del tubo una ampolla di vetro, poi si riempie il tubo fino al collo dell'ampolla, di mercurio puro. Poggiando in seguito il tubo così riempito su di una grata di lamiera inclinato (fig. 92) la si circonda di carboni incandescenti, in modo da portarlo ad una temperatura vicina a quella dell'ebollizione del mercurio. Si aggiungono allora nuovi carboni verso la parte inferiore della grata, onde far nascere l'ebollizione, e quando essa è stata prolungata quattro o cinque minuti, si portano i carboni un po' più in alto; e così di seguito, finchè si sia fatto bollire il mercurio

successivamente in tutta la lunghezza del tubo. Durante l'ebollizione i vapori mercuriali che si sviluppano, producono delle scosse nel tubo, e tendono a respingere il mercurio al di fuori; l'ampolla è destinata a ricevere il mercurio così proiettato.

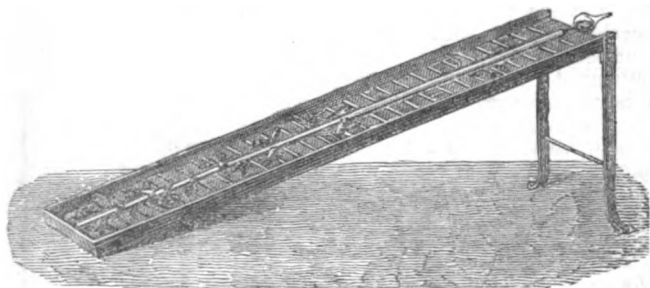



Fig. 92.

Quando si sia fatto bollire il mercurio nel tubo, le bolle d'aria e l'umidità che aderivano al vetro sono scomparse e il tubo presenta il riflesso metallico di uno specchio ben stagnato. È il segno che il tubo è stato completamente privato d'aria e d'umidità. Ciò che si riconosce anche inclinandolo dolcemente; rende un suono secco e metallico prodotto dal mercurio che viene ad urtare contro la estremità chiusa del tubo. Se nell'istrumento si trova aria od umidità il suono è attutito.

Riempito che sia il tubo, come è stato detto, si toglie l'ampolla dando un tratto di lima sul collo di essa, si termina di riempire completamente il tubo con mercurio secco e bollito, poi chiudendo il tubo col dito, come nella esperienza di Torricelli (fig. 83), lo si rovescia nella sua vaschetta.

Il tubo a sifone di Gay-Lussac si riempie nello stesso modo, ed è dopo il riempimento che lo si curva nella sua parte capillare, scaldandolo su dei carboni o alla lampada.

145. **Correzione relativa alla capillarità.** — Nei barometri a vaschetta vi è sempre, nella altezza del mercurio, una certa depressione dovuta alla capillarità (112), a meno che il diametro interno del tubo non sia di 2 $^1/_2$ a 3 centimetri. Per fare la correzione che necessita questa depressione, non basta di conoscere il diametro. Infatti si è già veduto (114), che questa depressione dipende anche dalla *freccia* del menisco, cioè dalla altezza *od* (fig. 93) della superficie convessa del mercurio al disopra della sezione orizzontale *ab* che serve di base al menisco. Ora, per uno stesso tubo, la lunghezza della freccia non è costante; essa varia a seconda che il menisco si è formato durante un movimento ascendente nel tubo oppure discendente. Per determinare questa lunghezza si fa affiorare lo spigolo superiore del corsoio colla base del menisco, poi lo si solleva finchè affiori col vertice. Leggendo allora sulla scala lo spostamento del corsoio si ha l'altezza della freccia. Conosciuta questa, come il diametro interno

Fig. 93.

del tubo, si trova la depressione nella tavola seguente calcolata da Delcros, tavola di cui noi non diamo che una parte.

La prima colonna verticale a sinistra contiene i diametri interni dei tubi; la prima linea orizzontale, le altezze delle frecce; e le altre colonne, le depressioni. Per tutti questi numeri l'unità è il millimetro.

Si fa uso di questa tavola come della tavola di moltiplicazione ordinaria. Per esempio se il diametro interno del tubo barometrico è 10 millimetri, e la freccia $0^{mm},6$, si trova, al punto di incontro delle branche orizzontale e verticale che comincia con 10, e con $0^{mm},6$, il numero $0^{mm},19$ per la depressione cercata.

Diametro interno in millimetri	Altezza della freccia del menisco											
	milli. 0 2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6
4	0.00	0 80	1,10	1,41	1,65	1,86	2 05	2,21	2,35	»	»	»
6	0.24	0,30	0 48	0.59	0.70	0.80	0,90	0 99	1,07	1,21	1,32	»
8	0,12	0,18	0,24	0,30	0,35	0,40	0,46	0,50	0 55	0 64	0,71	0.77
10	0 07	0,10	0.13	0.16	0.19	0,22	0,25	0 28	0,31	0.35	0.40	0.44
12	0.04	0 06	0,07	0 09	0,11	0 13	0.14	0.16	0.18	0,21	0,23	0,25
14	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,14	0,15

Quanto al diametro interno dei tubi, lo si determina pesandoli successivamente vuoti e pieni di mercurio. La differenza del peso dà così il peso del cilindro di mercurio contenuto in ciascun tubo. Ora l'altezza di questo cilindro essendo facile a misurarsi con precisione, il diametro si calcola in seguito colla formola $P = VD$, genere di problema di cui se ne è veduto precedentemente un esempio (106).

Nel barometro di Gay-Lussac, per evitare la correzione relativa alla capillarità, si ha cura che i due rami A e B (fig. 90) siano di egual diametro, giacchè allora le depressioni tendono ad essere uguali in alto e in basso della colonna mercuriale, e per conseguenza a compensarsi. Ma non si ottiene così che una correzione approssimativa. Infatti, dietro quanto si è veduto più sopra, le frecce dei due menischi non sono giammai rigorosamente uguali, poichè quando il movimento del mercurio è ascendente in una branca è discendente nell'altra.

146. **Correzione relativa alla temperatura.** — In tutte le osservazioni fatte coi barometri tanto a vaschetta che a sifone, bisogna aver riguardo alla temperatura. Di fatti, quando il mercurio si dilata o si contrae per le variazioni di temperatura, la sua densità cambia, e cambia quindi anche la sua altezza, poichè questa altezza sta in ragione inversa della densità del liquido rinchiuso nel tubo (140); di modo che si potrebbero avere, nel barometro, altezze uguali per pressioni atmosferiche differenti. È necessario adunque, in ogni osservazione, ridurre sempre l'altezza a quella che si avrebbe ad una temperatura determinata ed invariabile. Essendo quest'ultima affatto arbitraria, si scelse la temperatura del ghiaccio fondentesi. Si vedrà nello studiare il calorico (288), come si eseguisca questa correzione mediante il calcolo. Per conoscere la temperatura del mercurio nel barometro si colloca un termometro vicino al tubo, come mostrano le figure 84, 87 e 90.

Si può con un calcolo semplicissimo ridurre allo zero l'altezza del barometro, mediante le tavole di correzione costruite a quest'uopo. Queste tavole si trovano negli Annuari dell'Ufficio delle longitudini.

147. **Variazioni dell'altezza barometrica.** — Se si osserva per parecchi giorni il barometro, si vede che la sua altezza varia in ciascun luogo, non solo da un giorno all'altro, ma ben anche nello stesso giorno.

L'ampiezza delle variazioni, cioè la differenza media tra la maggiore e la minore altezza, non è dovunque la stessa. Essa cresce dall'equatore verso i poli Le variazioni maggiori, salvo i casi straordinari, sono di 6 millimetri all'equatore, e di 30 al tropico del cancro, di 40 in Francia, alla latitudine media, e di 60 a 25 gradi dal polo. Infine, le variazioni maggiori han luogo d'inverno.

Chiamasi *altezza media diurna* il numero che si ottiene facendo la somma di 24 osservazioni successive del barometro, prese d'ora in ora, e dividendo questo numero per 24. Ramond constatò, coll' esperienza, che alla nostra latitudine l'altezza del barometro, a mezzogiorno, è sensibilmente la media del giorno.

L'*altezza media mensile* si ottiene sommando le altezze medie diurne per un mese, e dividendo questo numero per 30.

Finalmente l'*altezza media dell'anno* si determina sommando le altezze medie diurne per un anno e dividendo la somma per 365.

Sotto l'equatore, la media annuale, al livello del mare, è $0^m,758$. Essa aumenta allontanandosi dall'equatore e raggiunge, tra le latitudini di 30 a 40 gradi, un massimo di $0^m,763$. Essa decresce nelle latitudini più elevate, ed a Parigi è solamente $0^m,7568$.

La media generale, al livello dei mari, sembra sia $0^m,761$.

La media mensile è più elevata d'inverno che d'estate; il che è una conseguenza del raffreddamento dell'atmosfera.

Nel barometro si distinguono due sorta di variazioni: 1.° le *variazioni accidentali,* che non offrono alcuna regolarità nella loro successione e che dipendono dalle stagioni, dalla direzione dei venti e dalla posizione geografica: queste sono quelle che si osservano principalmente nei nostri climi; 2.° le *variazioni diurne,* che si producono periodicamente a certe ore del giorno.

All'equatore e nelle regioni intertropicali non si osservano variazioni accidentali; ma le variazioni diurne vi si producono con tale una regolarità, che ivi un barometro potrebbe in certo modo servire d'orologio. Dopo mezzogiorno, il barometro si abbassa fino verso le 4 ore. A quest'ora giunge all'altezza minima, poi riascende e raggiunge l'altezza massima verso 10 ore di sera. Finalmente si abbassa di nuovo, raggiunge una seconda altezza minima verso le 4 ore di mattino, ed una seconda altezza massima verso 10 ore.

Anche nelle zone temperate si osservano delle variazioni diurne, ma sono però più difficili a constatarsi che all'equatore, perchè si confondono colle variazioni accidentali.

Le ore della massima e della minima altezza, nelle variazioni diurne, sembrano le stesse in tutti i climi, qualunque sia la latitudine; solo variano un poco colle stagioni.

148. **Causa delle variazioni barometriche.** — Si osserva, in generale, che le variazioni barometriche sono in senso contrario di quelle del termometro; cioè che, innalzandosi la temperatura, il barometro si abbassa,

e viceversa; questo indica che le variazioni barometriche in luogo determinato, risultano dalle dilatazioni o dalle contrazioni dell'aria in questo luogo, e per conseguenza dai suoi cangiamenti di densità. Se la temperatura fosse costante ed uniforme in tutta l'estensione dell'atmosfera, non si produrrebbe nel suo seno alcuna corrente, e la pressione atmosferica, ad altezza eguale, sarebbe invariabile ed ovunque la stessa. Ma allorchè una certa regione dell'atmosfera si riscalda più che le regioni vicine, l'aria dilatata si innalza in virtù della sua leggerezza specifica e si spande nelle alte regioni dell'atmosfera; da ciò risulta che la pressione diminuisce ed il barometro si abbassa. Lo stesso accadrebbe se, una regione dell'atmosfera conservasse la stessa temperatura, e le altre si raffreddassero; perchè, allora, l'aria della prima si innalzerebbe ancora a cagione della sua minor densità. Accade, ordinariamente, che un abbassamento straordinario sopra un punto del globo sia compensato da un innalzamento simile sopra un altro punto.

Sembra che le variazioni diurne risultino dalle dilatazioni e contrazioni che si producono periodicamente nell'atmosfera per effetto dell'azione calorifica del sole durante la rotazione della terra.

149. Relazione fra le variazioni barometriche e lo stato del cielo. — Si osserva che nei nostri climi, il barometro sta comunemente al di sopra di $0^m,758$ durante il bel tempo, ed al di sotto di questo punto nei tempi di pioggia, di neve, di vento o di temporale; e finalmente, che per un certo numero di giorni in cui il barometro segna $0^m,758$ vi sono, in media, tutti i giorni di bel tempo ed altrettanti di pioggia. Dietro questa coincidenza, fra l'altezza del barometro e lo stato del cielo, si segnarono sul barometro le seguenti indicazioni, contando da 9 in 9 millimetri, al di sopra ed al disotto di $0^m,758$.

Altezza.	Stato dell'atmosfera.
731 millimetri	tempesta.
740 —	gran pioggia.
749 —	pioggia e vento.
758 —	variabile.
767 —	bel tempo.
776 —	bello stabile.
783 —	assai secco.

Consultando il barometro, come strumento atto ad annunciare i cangiamenti di *tempo*, non bisogna perdere di vista che esso non è realmente destinato che a misurare il peso dell'aria, e che non si innalza o si abbassa se non quando questo peso aumenta o diminuisce. Ora, dal fatto che le mutazioni di tempo coincidono, il più delle volte colle variazioni di pressione, non si può dedurre che siano fra loro invariabilmente collegate. Questa coincidenza dipende da alcune condizioni metereologiche particolari ai nostri climi, e non è senza eccezioni. L'abbassarsi del barometro, che nelle nostre regioni precede ordinariamente la pioggia, dipende dalla posizione dell'Europa. Infatti, i venti di sud-ovest, che sono i più caldi, e per conseguenza i meno pesanti, fanno abbassare il barometro; ma nello stesso tempo, siccome attraversando l'Oceano si sono caricati di vapor d'acqua, ci apportano pioggia. I venti del nord e di nord-ovest, al contrario, essendo freddi e più densi, fanno innalzare il barometro; ma siccome non ci arrivano che dopo aver attraversato vasti continenti, sono secchi ed accompagnati, in generale, da un cielo puro e sereno.

Deluc ammetteva che i vapori, i quali sono meno densi dell'aria, tendano per la loro presenza a diminuire il peso dell'atmosfera, e spiegava così la coincidenza della pioggia coll'abbassamento del termometro; ma questa spiegazione non può essere ammessa, dacchè, nella zona torrida, la pioggia o il bel tempo non modificano punto l'altezza barometrica.

Risulta da un gran numero di osservazioni, che le indicazioni fornite dal barometro sono assai probabili, quando questo strumento ascende o discende lentamente, cioè durante due o tre giorni, verso il bel tempo o verso la pioggia. Le variazioni rapide, tanto in un senso che nell'altro, presagiscono cattivo tempo o vento.

Avuto riguardo alle precedenti osservazioni, non che alla direzione dei venti ed alla temperatura dell'aria, si ponno dedurre dal barometro indicazioni utili, specialmente per l'agricoltura. Bisogna però notare che la tavola d'indicazioni data superiormente, è il risultato di antiche osservazioni fatte a Parigi. Ora, la maggior parte dei fabbricatori di barometri adottarono le medesime indicazioni per tutta la Francia e per tutti i paesi della terra. Ne risulta che in luoghi più elevati di Parigi, o situati in condizioni geografiche diverse, i barometri non fornirono che indicazioni completamente false; non bisogna però attribuirne la causa a questi strumenti, ma bensì a quelli che li fabbricano o li consultano. In ogni paese, le indicazioni del barometro sono modificate dalla posizione geografica, e quindi, per avere indicazioni esatte, bisogna tenerne conto.

Fig. 94. Fig. 95.

150. **Barometro a quadrante.** — Il *barometro a quadrante*, dovuto ad Hooke, è un barometro a sifone, destinato principalmente ad indicare il bello ed il cattivo tempo. Esso è così chiamato perchè munito di un quadrante su cui si move un lungo indice (94), che è posto in movimento dal mercurio stesso dello strumento, mediante un meccanismo rappresentato dalla figura 95. All'asse dell'indice è fissata una carrucola O, su cui si avvolge un filo che porta all'una delle sue estremità un peso P, ed all'altra un galleggiante, un poco più pesante di questo peso e sostenuto dal mercurio del ramo più corto del tubo barometrico. Se la pressione atmosferica aumenta, il livello si abbassa nel ramo più corto, il galleggiante discende e fa ruotare la carrucola e l'ago da sinistra a destra. Il movimento contrario ha luogo se la pressione diminuisce, perchè allora il mercurio si innalza nella piccola branca, ed ascende nel tempo istesso anche il galleggiante. Ne risulta da ciò che l'indice si ferma alle parole *variabile*,

pioggia, bel tempo, tempo stabile, ecc., allorchè il barometro arriva alle altezze corrispondenti, purchè però l'istrumento sia ben regolato; ora, questa condizione è rare volte soddisfatta in quelli che si trovano in commercio.

151. **Misura delle altezze mediante il barometro.** — Siccome la pressione dell'atmosfera decresce quanto più si ascende, ne viene che il barometro si abbassa tanto più quanta maggiore è l'altezza cui viene portato lo strumento, il che permette di utilizzarlo per misurare l'altezza della montagne.

Se la densità dell'aria rimanesse uguale in tutti gli strati dell'atmosfera, si potrebbe, con un calcolo semplicissimo, dedurre l'altezza di un luogo dalla depressione del barometro. Diffatti, siccome la densità dell'aria è 10 466 volte minore di quella del mercurio, se il barometro si abbassasse, per es. di 1 millimetro, si dedurrebbe che la colonna d'aria che fa equilibrio al mercurio, ha sofferto una diminuzione 10 466 volte maggiore, cioè di 1 millimetro moltiplicato per 10 466, ossia $10^m,466$. Tale sarebbe adunque l'altezza cui si sarebbe giunti. Se la depressione del mercurio fosse di 2, 3.... millimetri, si concluderebbe del pari che l'ascesa sarebbe due volte, tre volte ... $10^m,466$. Ma siccome la densità dell'aria decresce a misura che si ascende nell'atmosfera, questo calcolo non si può applicare che a piccole altezze.

Per misurare l'altezza delle montagne, mediante il barometro, Laplace diede la formola

$$D = 18393\,(1 + 0{,}002837\cos 2\varphi)\left[1 + \frac{2(T+t)}{1000}\right]\log\frac{H}{h},$$

nella quale D indica la distanza verticale fra i due luoghi di cui si cerca la differenza di livello, H l'altezza del barometro alla stazione inferiore, ed h l'altezza alla stazione superiore; T e t sono le temperature dell'aria corrispondenti a ciascuna osservazione; φ e la latitudine.

Per la latitudine di 45°, si ha $\cos 2\varphi = 0$, e la formola diventa

$$D = 18393\left[1 + \frac{2\,(T+t)}{1000}\right]\log\frac{H}{h}.$$

Per altezze minori di 1000 metri, Babinet recentemente propose la formola

$$D = 16000^m\left(\frac{H-h}{H+h}\right)\left[1 + \frac{2\,(T+t)}{1000}\right]$$

colla quale non si fa uso dei logaritmi.

Oltmanns costrusse alcune tavole colle quali si calcola assai semplicemente la differenza di livello fra due stazioni, purchè si conoscano le altezze H e h del barometro, e le temperature T e t alla stazione inferiore ed alla superiore. Queste tavole e la maniera di servirsene sono negli Annuari dell'Ufficio delle longitudini.

Se l'altezza che si vuol misurare non è assai grande, si può operare da solo; ma se è considerevole, ed esige un tempo di ascesa un po' lungo, durante il quale la pressione atmosferica può variare, bisogna essere in due, ed avere due barometri che siano ben d'accordo. L'uno degli osservatori rimane al piede della montagna, l'altro si porta alla sua sommità; poi, ad un'ora determinata, osservano simultaneamente il barometro; di modo che la differenza delle altezze delle colonne è dovuta interamente alla differenza dei livelli.

CAPITOLO II.

MISURA DELLA FORZA ELASTICA DEI GAS

152 **Legge di Mariotte.** — L'abate Mariotte, fisico francese, morto nel 1684, stabilì, pel primo, la legge seguente sulla compressibilità dei gas: *Rimanendo costante la temperatura, il volume di una data massa di gas è in ragione inversa della pressione che sostiene.*

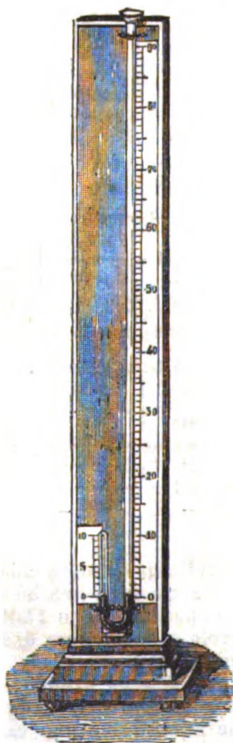



Fig. 96. Fig. 97.

Questa legge si verifica, per l'aria, mediante l'apparato seguente, conosciuto sotto il nome di *tubo di Mariotte*. Sopra una tavoletta di legno, disposta verticalmente, è fissato un tubo di vetro ricurvo a sifone, avente i due rami diseguali (fig. 96). Lungo il tubo più corto, che è

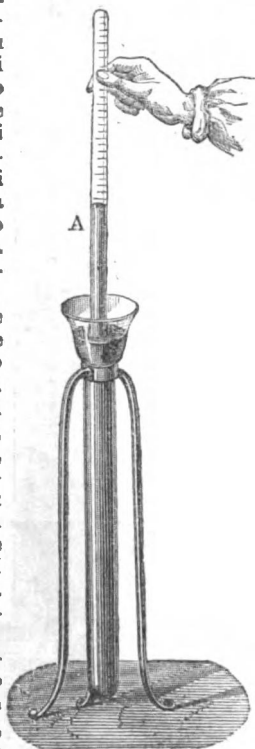
chiuso, evvi una scala che indica capacità uguali, ed un'altra scala posta lunghesso il ramo più lungo indica le altezze in centimetri. Gli zeri delle due scale si trovano sopra una medesima linea orizzontale.

Per esperimentare, si incomincia coll'introdurre del mercurio nell'apparato, per la sommità del ramo più lungo, in modo che il livello del liquido in ambedue i rami corrisponda allo zero (fig. 96), ciò che si ottiene dopo qualche tentativo. L'aria rinchiusa nel ramo più corto è allora sottoposta alla pressione atmosferica che si esercita, sulla superficie del mercurio, nel tubo più lungo; perchè altrimenti il livello non sarebbe lo stesso. Finalmente si versa del mercurio nel tubo finchè la pressione che ne risulta riduca alla metà il volume dell'aria rinchiusa nel braccio più corto, cioè finchè questo volume che dapprima era 10, non sia più che 5, come mostra la figura 97. Se allora si misura la differenza del livello CA del mercurio nei due tubi, si trova che è precisamente uguale all'altezza del barometro al momento in cui si esperimenta. La pressione della colonna CA equivale adunque ad un' atmosfera. Aggiungendovi la pressione atmosferica che si esercita in A, alla sommità della colonna, si vede che al momento in cui il volume d'aria è ridotto alla metà, la pressione è doppia della primitiva; il che dimostra la legge.

Se la lunghezza del ramo più lungo è tale che vi si possa versare mercurio, finchè il volume dell'aria rinchiusa nel ramo più corto sia ridotto ad un terzo di quello che era in principio, si trova che la differenza di livello nei due tubi è uguale a due volte l'altezza del barometro; essa equivale cioè a due pressioni atmosferiche, che aggiunte a quella che si esercita direttamente sulla superficie del mercurio nel tubo più lungo, danno una pressione di tre atmosfere. Il volume dell'aria, adunque, è divenuto tre volte minore sotto una pressione tripla. La legge di Mariotte venne in tal modo verificata per l'aria fino a 27 atmosfere, da Dulong ed Arago, mediante un apparato descritto più sotto (fig. 99).

Fig. 98.

La legge di Mariotte si verifica anche per pressioni minori di quelle di un'atmosfera. A tal uopo si riempie di mercurio un tubo barometrico fin circa a due terzi, lasciando il resto pieno d'aria; poi lo si capovolge e lo si immerge in una provetta profonda, piena di mercurio (fig. 98); in seguito si spinge a fondo il tubo finchè il livello del mercurio sia lo stesso tanto all'interno che all'esterno, e si osserva, mediante una scala segnata sulla provetta, qual è il volume dell'aria rinchiusa nel tubo. Ciò posto, si solleva il tubo, come rappresenta la figura, fintanto che, per la diminuzione di pressione, il volume dell'aria sia divenuto il doppio. Ora, si trova che allora il mercurio si innalza nel tubo A, e che l'altezza cui giunge è la metà di quella del barometro. Quindi l'aria, di cui il volume è rad-

doppiato, non è più sottoposta che alla pressione di mezza atmosfera; perchè è la forza elastica di quest'aria, che unita al peso della colonna sollevata, fa equilibrio alla pressione atmosferica esterna. Il volume adunque è ancora in ragione inversa della pressione.

153. **La legge di Mariotte non è che approssimativa.** — Sino a questi ultimi anni, la legge di Mariotte si ammetteva in modo assoluto per

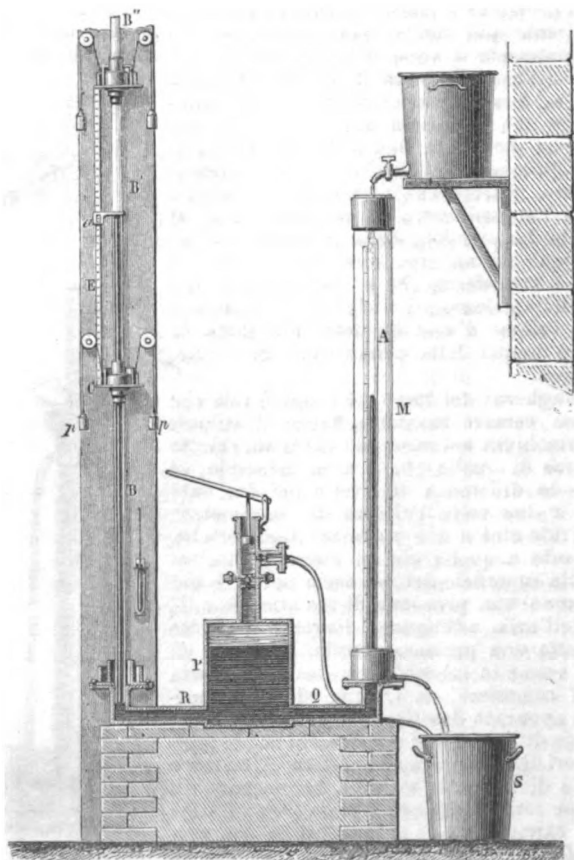



Fig. 99.

tutti i gas ed a tutte le pressioni. Despretz dimostrò, pel primo, che l'acido carbonico, l'idrogeno solforato, l'ammoniaca e il cianogene sono più compressibili dell'aria, e che l'idrogeno, comportandosi dapprima come l'aria sino ad una pressione di 15 atmosfere, è in seguito meno compressibile. Avendo le esperienze di Despretz comprovato che tutti

i gas non sono egualmente compressibili, deducesi che la legge di Mariotte non era generale.

Questa legge trovavasi quindi difettosa, quando Dulong ed Arago intrapresero sulla forza elastica del vapor acqueo alcune ricerche nelle quali essi dovevano far uso di un manometro ad aria compressa (158) per misurare la tensione. Ora volendo essi a questo scopo assicurarsi dell'esattezza del loro manometro, lo graduarono, non secondo la legge di Mariotte, ma sottomettendo direttamente l'aria rinchiusa nel manometro a delle pressioni sempre più grandi. Perciò disposero il loro apparecchio come lo mostra la figura 99. Un serbatoio P, in ferraccio, porta lateralmente due tubulature Q, R, di egual sostanza. Nella prima è masticato il tubo manometrico A, di circa 2 metri di lunghezza; questo tubo è riempito di aria secca, e circondato da un manicotto di vetro nel quale circola una corrente di acqua fredda per mantenere la temperatura costante, malgrado l'innalzamento di temperatura che tende ad assumere l'aria che è nel tubo nell'atto della compressione. Alla seconda tubulatura è fissata una serie di tredici tubi di cristallo B, B', B'',...., ciascuno di due metri di lunghezza, e riuniti fra loro col mezzo di armature di ferro

Questi tubi erano applicati lungo forti travi di abete, e perchè non esercitassero pressione gli uni sugli altri, a ciascuna armatura, come lo si vede in O, erano attaccate due funicelle avvolgentesi su due carucole, le quali erano portate dai travi stessi che sostenevano tutti i tubi. A queste funicelle erano sospesi dei piccoli secchi p, p, caricati di migliarole di piombo e che facevano equilibrio, due a due, ad un tubo colla sua armatura. Finalmente, sul serbatoio P era adattata una tromba aspirante e premente, che aspirava dell'acqua da un vaso S e la spingeva nel serbatoio P. Ora, quest'ultimo, essendo stato riempito preventivamente fino a due terzi circa di mercurio, quando si metteva in azione la tromba, la pressione trasmessa dall'acqua al mercurio respingeva quest'ultimo nelle tubulature Q e R; in modo che esso si innalzava nello stesso tempo nei tubi B, B', B'',.... e nel manometro A, assolutamente come nella esperienza del tubo di Mariotte, del quale i tubi B, B,' B'',.... rappresenterebbero il ramo maggiore, e il tubo manometrico il minore. A misura che il volume d'aria si riduceva così nel tubo A, l'altezza del mercurio nei tubi B, B', B'',.... faceva conoscere la pressione corrispondente.

Questa altezza si misurava col mezzo di regoli divisi in millimetri e muniti di vernieri, che si disponevano lungo i tubi, applicandoli su dei punti fissi tracciati sulle armature di congiunzione.

Dulong e Arago avendo sperimentato così fino a 27 atmosfere, osservarono che il volume dell'aria diminuiva sempre un po' di più nel tubo A che non indicasse la legge di Mariotte; ma le differenze essendo piccolissime, essi le attribuirono ad errori di osservazione, e ammisero che questa legge era rigorosamente esatta per l'aria, almeno fino a 27 atmosfere di pressione, limite delle loro esperienze.

Finalmente Regnault nel 1847 pubblicò talune esperienze sulla compressibilità dei gas fatte con un apparecchio che aveva molti rapporti con quello di Dulong ed Arago, ma nel quale erasi tenuto conto di tutte le cause di errore e fatte le osservazioni con estrema precisione. Ora avendo fatte le sue esperienze sull'aria, l'azoto, l'acido carbonico e l'idrogeno, Regnault constatò dapprima che l'aria non segue rigoro-

samente la legge di Mariotte, ma si comprime di più che essa non indichi, e inoltre che la sua compressibilità aumenta colla pressione; vale a dire che i risultati ottenuti per mezzo dell'osservazione e quelli dedotti dalla legge di Mariotte differiscono tanto più quanto più forte è la pressione.

Regnault ha trovato che l'azoto si comporta come l'aria, tranne che è meno compressibile. Quanto poi all'acido carbonico, esso allontanasi di molto dalla legge di Mariotte, quando le pressioni siano un po' considerevoli. Finalmente anche l'idrogeno se ne allontana; ma la sua compressibilità, invece di aumentare colla pressione diminuisce.

Regnault ha inoltre osservato che l'acido carbonico si allontana tanto meno dalla legge di Mariotte quanto più elevata è la temperatura, e si ammette generalmente che ciò valga anche per gli altri gas. Infatti l'esperienza dimostra che i gas differiscono tanto più da questa legge quanto più vicini sono al loro punto di liquefazione, e che al contrario allontanandosi da questo punto, la compressibilità tende sempre più a diventar proporzionale alla pressione. Del resto possiamo aggiungere che per tutti i gas che non si poterono liquefare, le differenze tra la legge di Mariotte e l'osservazione sono estremamente piccole e affatto trascurabili nelle esperienze di fisica e chimica, quando non si considerino che pressioni poco considerevoli, come è il caso ordinario.

154. **Conseguenze della legge di Mariotte.** — Nella esperienza del tubo di Mariotte, la massa d'aria chiusa nel tubo rimanendo la stessa, la sua densità diventa tanto maggiore, quanto più piccolo si riduce il suo volume; da cui si deduce, come conseguenza della legge di Mariotte, il principio seguente, il quale non è che un altro enunciato di essa: *Per una stessa temperatura, la densità di un gas è proporzionale alla pressione che sopporta.* Per esempio, sotto la pressione ordinaria dell'atmosfera, la densità dell'aria essendo 773 volte minore di quella dell'acqua (129), sotto una pressione di 773 atmosfere, l'aria avrebbe la stessa densità dell'acqua, se ad una tale pressione essa fosse ancora gasosa; ciò che si ignora.

Si può anche ennunciare la legge di Mariotte, dicendo che per una massa data di gas, presa alla stessa temperatura, *il prodotto del volume per la pressione è costante.*

Infatti, siano V il volume alla pressione P, e V′ il volume alla pressione P′: dietro la legge di Mariotte, si ha $\frac{V}{V'} = \frac{P'}{P}$, da cui $VP = V'P'$.

155. **Problema sulla legge di Mariotte.** — I. Un vaso a pareti compressibili contiene litri 4,3 d'aria, la pressione essendo $0^m,74$; quale sarebbe il volume dell'aria sotto la pressione $0^m,76$, la temperatura rimanendo la stessa?

Il volume d'aria essendo lit. 4,3 sotto la pressione $0^m,74$, sarebbe secondo la legge di Mariotte, 74 volte maggiore sotto la pressione di $0^m,01$, o lit. $4,3 \times 74$; e secondo la stessa legge, sarebbe 76 volte minore alla pressione $0^m,76$, cioè

$$\frac{4,3 \times 74}{76} = \text{lit. } 4,186.$$

II. Si hanno 20 litri di gas sotto la pressione di una atmosfera: a quale pressione, in atmosfere, deve essere sottoposto questo volume di gas per ridursi ad 8 litri?

Per ridurre il volume di 20 litri ad uno solo, bisognerebbe, secondo la legge di Mariotte, una pressione 20 volte maggiore, ossia di 20 atmosfere; per ricondurlo in seguito da un solo litro ad 8, occorre una pressione 8 volte minore, ossia $\frac{20}{8} = 2$ atmosfere $\frac{1}{2}$.

III. Un litro d'aria pesa gr. 1,293 a zero e sotto la pressione di 76c di mercurio; qual sarebbe il peso, a volume uguale, di V litri d'aria sotto la pressione H?

Un litro d'aria, pesando gr. 1,293 sotto la pressione 76c, pesa $\frac{\text{gr. } 1{,}293}{76}$ sotto la pressione 1c e $\frac{\text{gr. } 1{,}293 \times H}{76}$ alla pressione H; dunque il peso P di V litri, a zero ed alla pressione H, è $P = \frac{\text{gr. } 1{,}293 \times H \times V}{76}$.

IV. La densità di un gaz è d alla pressione barometrica H; quale sarà la sua densità d' sotto la pressione 0m,76?

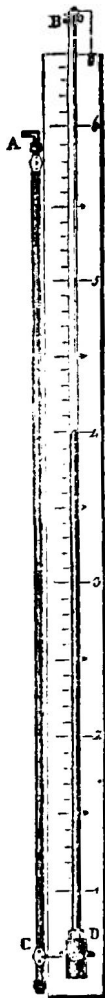
Le densità dei gaz, come i loro pesi, essendo direttamente proporzionali alle pressioni, si ha $\frac{d'}{d} = \frac{0^m{,}76}{H}$, da cui $d' = \frac{d \times 0{,}76}{H}$.

156. **Manometri.** — Si dà il nome di *manometri* a quegli strumenti destinati a misurare la tensione dei gas e dei vapori. Si distingue il *manometro ad aria libera*, il *manometro ad aria compressa* e il *manometro metallico*.

In questi differenti generi di manometri, l'unità di misura che si è scelta è la pressione atmosferica, quando il barometro è a 0m,76. Ora, si è veduto (138) che questa pressione, su un centimetro quadrato, equivale al peso di chil. 1,033; per conseguenza se si dice che un gas ha una tensione di 2, di 3 atmosfere, ciò significa che la sua tensione farà equilibrio al peso di una colonna di mercurio di due volte, tre volte 76 centimetri di altezza; e, in altri termini, che esso esercita, su ciascun centimetro quadrato delle pareti che lo contengono, una pressione uguale a due o tre volte il peso di chil. 1,033.

157. **Manometro ad aria libera.** — Il *manometro ad aria libera* si compone di un tubo BD (100) di cristallo, lungo circa 5 metri, e di una vaschetta D di ferro lavorato a martello, contenente del mercurio, nel quale si immerge il tubo. Quest'ultimo che è aperto alle due estremità, è solidamente unito con mastice alla vaschetta, e fissato su di una tavoletta di abete, lungo la quale è situato un secondo tubo AC, di ferro, alto 4 metri. Per mezzo di questo tubo la pressione del gas o del vapore si trasmette fino al mercurio della vaschetta. Siccome i manometri funzionano il più delle volte coi vapori, la di cui elevata temperatura ammollirebbe il mastice che serve a fissare il tubo di cristallo alla vaschetta, si riempie il tubo AC di acqua, ed è quest'ultima che riceve direttamente la pressione del vapore e la trasmette al mercurio.

Fig. 100 (a. = 4m,80).

Per graduare il manometro, si lascia l'orifizio A in comunicazione coll'atmosfera, ed al livello cui giunge allora il mercurio nel tubo di cristallo, si segna 1, cioè un'atmosfera, poi a partire da questo punto, di 76 in 76 centimetri, si marcano le cifre 2, 3, 4, 5, 6, che indicano lo stesso numero d'atmosfere; giacchè si sa che una colonna di mercurio di 76 centimetri rappresenta una pressione atmosferica. Infine si dividono gli intervalli fra 1 e 2, fra 2 e 3.... in 10 parti eguali, che indicano i decimi di atmosfera.

Posto in seguito il tubo A in comunicazione, per es., con una caldaia a vapore, il mercurio si eleva nel tubo BD, ad un'altezza che indica la tensione del vapore. Nel nostro disegno, il manometro segna 4 atmosfere, che sono rappresentate da 3 volte l'altezza di 76 centimetri, più la pressione atmosferica che si esercita alla sommità della colonna.

Il manometro ad aria libera è in uso solo per pressioni che non sorpassano 5 o 6 atmosfere. Per pressioni superiori, bisognerebbe dare al tubo DB una lunghezza che lo renderebbe tanto fragile quanto imbarazzante. In tal caso si ricorre al manometro seguente.

158. **Manometro ad aria compressa.** — Il *manometro ad aria compressa,* fondato sulla legge di Mariotte, si compone di un tubo di cristallo chiuso alla sua estremità superiore e pieno d'aria secca. Questo tubo pesca in una vaschetta di ferro, piena in parte di mercurio, ed alla quale è unito con mastice. Quest'ultima, mediante una tubulatura A (fig. 101), è posta in comunicazione con un vaso chiuso contenente il gas od il vapore di cui si vuol misurare la forza elastica.

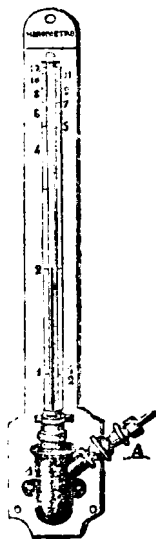



Fig. 101 (a. = 80).

Riguardo alla graduazione di questo manometro, si può ottenerla coll'esperienza e col calcolo. Lo si gradua sperimentalmente confrontando le sue variazioni con quelle di un manometro ad aria libera. Perciò, avendo regolata la quantità d'aria che è nel tubo, in modo che sotto la pressione di una atmosfera, il livello del mercurio sia alla stessa altezza di quella che ha nella vaschetta, si fa comunicare lo strumento, contemporaneamente al manometro ad aria libera col quale si vuol confrontare, con un recipiente nel quale si vada lentamente comprimendo dell'aria col mezzo di una tromba premente. Il mercurio innalzandosi così nei due strumenti, a misura che il manometro ad aria libera segna successivamente 1, 2, 3... atmosfere, si scrivono gli stessi numeri, in corrispondenza al livello del mercurio su di una scala posta lungo il tubo manometrico. Lo strumento si trova così graduato con esattezza, il tubo sia o no calibrato in tutta la sua lunghezza.

Per fare questo calcolo, consideriamo dapprima il caso in cui il diametro interno della vaschetta sia abbastanza grande perchè si possa ammettere che il livello vi resti sensibilmente costante, quando il mercurio si innalza nel tubo. Ciò posto, messo il manometro in comunicazione con un vaso che contiene un gas compresso, sia F la tensione in centimetri in questo vaso, h l'altezza del tubo manometrico partendo dal livello del mercurio nella vaschetta, e x l'altezza alla quale si innalza il mercurio per effetto della pressione F.

La pressione esterna essendo dapprima di un'atmosfera, o 76 centimetri, il volume d'aria nel tubo manometrico può essere rappresentato da h; poscia la pressione esterna diventando F, il volume di aria riducesi ad $h - x$; esso è dunque allora più compresso, e acquista una tensione f che si calcola, colla legge di Mariotte, ponendo $\frac{f}{76} = \frac{h}{h-x}$, d'onde $f = \frac{76h}{h-x}$. Ora, facendo F equilibrio colla colonna di mercurio x e colla elasticità f dell'aria compressa, si ha $F = \frac{76h}{h-x} + x$ [1]; d'onde si cavano i due valori

$$x' = \frac{(F+h) + \sqrt{(F+h)^2 - 4h(F-76)}}{2}, \quad [2]$$

$$x'' = \frac{(F+h) - \sqrt{(F+h)^2 - 4h(F-76)}}{2}. \quad [3]$$

La seconda è la sola che soddisfaccia alla questione, perchè facendo in essa $F = 76$, viene $x = 0$, come dev'essere; mentre dando lo stesso valore ad F nell'equazione [2], si trova $x' = h + 76$, valore impossibile, giacchè x è necessariamente $< h$. Facendo successivamente $F = 2.76$, $F = 3.76$,.. nella equazione [3], si ottengono le altezze alle quali si deve scrivere sulla scala i numeri 2, 3, 4,... atmosfere, partendo dal livello della vaschetta.

Volendo ora tener conto della depressione del mercurio nella vaschetta, sia x' questa depressione, R il raggio interno della vaschetta, r quello del tubo manometrico, e x l'ascensione del mercurio in quest'ultimo. L'ascensione e la depressione del mercurio essendo in ragione inversa delle sezioni del tubo e della vaschetta, o, ciò che torna lo stesso, in ragione inversa dei quadrati dei raggi di queste stesse sezioni, si ha $\frac{x'}{x} = \frac{r^2}{R^2}$, d'onde si ha $x' = \frac{r^2 x}{R^2}$.

Ciò posto, la differenza di livello nel tubo e nella vaschetta essendo attualmente $x + x'$, la tensione F fa equilibrio ad una colonna di mercurio $x + x'$, più alla forza elastica dell'aria compressa nel tubo, la quale è ancora $\frac{76h}{h-x}$. Si ha dunque $F = x + x' + \frac{76h}{h-x}$. Sostituendo ad x' il suo valore e riducendo,

$$F = \frac{(R^2 + r^2)\,x}{R^2} + \frac{76h}{h-x}. \quad [4]$$

Fig. 102.

Nel caso che il manometro consistesse semplicemente in un tubo ricurvo, chiuso alla sua estremità superiore e contenente del mercurio (fig. 102), si avrebbe $R = r$, e allora la formola [4] diventa $F = 2x + \frac{76h}{h-x}$ [5].

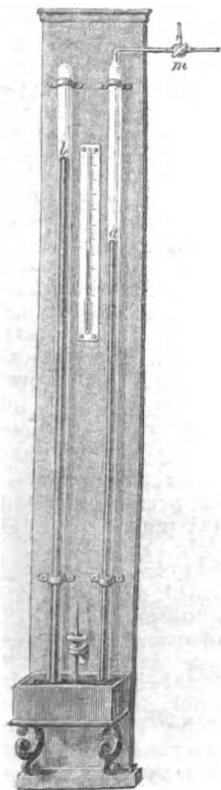
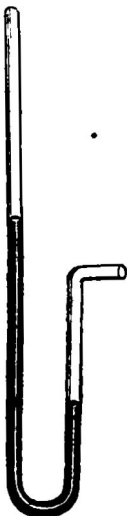



Fig 103.

159. Manometro barometrico di Regnault. — Per misurare le tensioni minori della pressione atmosferica, Regnault ha adottato un manometro che non è che una modificazione del suo barometro fisso già descritto (142). A lato del tubo barometrico sta un secondo tubo *a* di egual diametro, che s'immerge nella stessa vaschetta (fig. 103). Questo tubo aperto alle sue due estremità è in comunicazione alla sua parte superiore con una tubulatura a tre rami *m*, la quale comunica da una parte con una macchina pneumatica, dall'altra coll'apparecchio in cui si vuol fare il vuoto. Più la rarefazione è spinta innanzi in quest'ultimo, più il mercurio si innalza nel tubo *a*; di modo che è la differenza di livello nei tubi *b* ed *a* che fa conoscere la tensione. Non vi è dunque che misurare la altezza *ab*

col catetometro, per avere con precisione la forza elastica del gas o del vapore nell'apparecchio in cui si fa il vuoto. Questo apparato si designa anche col nome di *barometro differenziale*.

160. **Manometro di Bourdon.** — Bourdon, meccanico a Parigi, inventò, or sono alcuni anni, un nuovo manometro rappresentato dalla figura 104. Questo strumento, che è tutto di metallo e senza mercurio, è basato sul seguente principio, fondato sul cangiamento di forma operato nei tubi dalle pressioni: allorchè un tubo, a pareti flessibili e leggermente appianate, è piegato in forma di spirale nel senso del suo diametro più piccolo, *ogni pressione interna sulle pareti tende a svolgerlo, ed invece, qualsivoglia pressione esterna tende ad avvolgerlo maggiormente.*

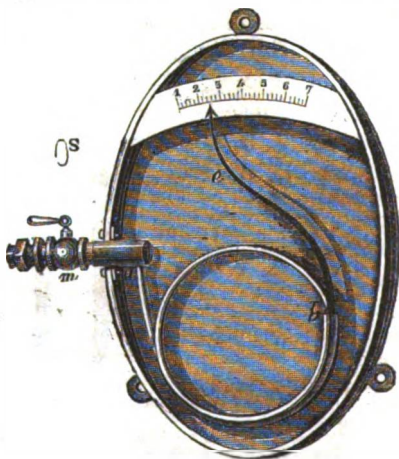



Fig. 104 (a. = 26).

Dietro questo principio, il manometro di Bourdon si compone di un tubo ricurvo, di ottone, lungo $0^m,70$, le di cui pareti sono sottili e flessibili. La sua sezione rappresentata in S alla sinistra della figura, è un'elisse, il di cui asse maggiore è di 11 millimetri ed il minore di 4. L'estremità *a*, che è aperta, è fissata ad una tubulatura a robinetto *m*, destinata a porre l'apparato in comunicazione con una caldaia a vapore. L'estremità *b* è chiusa e mobile come tutto il rimanente del tubo.

Ciò posto, trovandosi aperto il robinetto *m*, la pressione che si produce, in forza della tensione del vapore, sull'interno delle pareti del tubo, lo fa svolgere. L'estremità *b* è allora trascinata da sinistra a destra, e con essa un lungo ago *e*, che indica, sopra un quadrante, la tensione del vapore in atmosfere. Questo quadrante si gradua precedentemente confrontandolo con un manometro ad aria libera, facendo agire l'apparato mediante l'aria compressa.

Il manometro di Bourdon offre, sui precedenti, il prezioso vantaggio di essere assai portatile e per nulla fragile. Per tal motivo è adottato sulle locomotive di molte strade-ferrate.

161. **Barometro metallico di Bourdon.** — Bourdon inventò pure un barometro metallico fondato sullo stesso principio del suo manometro. Quest'apparato, rappresentato dalla figura 105, si compone di un tubo simile a quello del manometro sopra descritto, ma meno lungo, chiuso ermeticamente, e fissato soltanto alla sua metà; per tal modo, essendovi precedentemente stato operato il vuoto, ogni qualvolta la pressione atmosferica diminuisce, il tubo si svolge in forza del principio suesposto (160). Il movimento si comunica ad un ago che indica la pressione sopra un quadrante. La trasmissione del movimento, ha luogo mediante due piccoli fili metallici *b* ed *a*, che uniscono le estremità del tubo ad una leva fissata all'asse dell'ago. Se, al contrario, la pres-

sione aumenta, il tubo piega su sè stesso, ed una piccola molla a spirale *c* fa girare l'indice da sinistra a destra sul quadrante. Questo barometro è di piccolissimo volume, assai sensibile e rimarchevole per la sua estrema semplicità.

Fig. 105 (a. = 10).

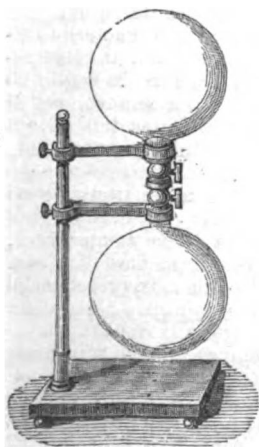
162. Leggi delle mescolanze dei gas. — Abbiamo veduto nelle mescolanze dei liquidi che questi tendono a separarsi, e non vi può essere equilibrio se non allorquando essi sono sovrapposti in ordine di densità crescenti dall'alto al basso (88), la superficie di separazione dei diversi liquidi essendo orizzontale. I gas, in virtù della loro forza espansiva, presentano, allorchè vengono mescolati, altre condizioni di equilibrio, quali sono le seguenti:

1.° *La mescolanza, che si compie sempre rapidamente, è omogenea e stabile, di modo che tutte le parti del volume totale contengono la stessa proporzione dei gas mescolati qualunque sia la loro densità.*

2.° *Se la temperatura è costante, la forza elastica della mescolanza è sempre uguale alla somma delle forze elastiche dei gas mescolati, ciascuna di esse essendo riferita al volume totale, secondo la legge di Mariotte.*

Questa seconda legge si può enunciare anche dicendo che, *in una mescolanza di vari gas, la pressione che ciascuno di essi esercita è uguale a quella che eserciterebbe se fosse solo.*

Fig. 106.

La prima legge è una conseguenza della somma porosità dei gas e della loro forza espansiva. Essa venne dimostrata per la prima volta dal chimico francese Berthollet, mediante l'apparato rappresentato dalla fig. 106, il quale si compone di due palloni di vetro muniti ciascuno di un collo a robinetto, ed uniti a vite l'uno sull'altro. Il pallone superiore era pieno di idrogeno, la cui densità è 0,0692, e l'altro di gas acido carbonico, la cui densità è 1,529, cioè 22 volte maggiore. L'apparato fu collocato nelle cantine dell'Osservatorio, onde preservarlo da ogni agitazione e da ogni variazione di temperatura. Essendo stati aperti i robinetti, l'acido carbonico, ad onta del suo peso maggiore, passò in parte nel pallone superiore e, dopo qualche tempo, si verificò che i due palloni contenevano proporzioni uguali di idrogeno e d'acido carbonico. Sottoposti alla stessa esperienza, tutti i gas che non esercitano fra loro azione chimica danno lo stesso risultato, e si osserva che la mescolanza si opera tanto più rapidamente quanto maggiore è la differenza di densità.

La seconda legge è una conseguenza della legge di Mariotte. Per verificarla, siano v, v', v'', i volumi di tre gas senza azione chimica gli uni sugli altri, f, f', f'', le loro tensioni rispettive, e V il volume del vaso nel quale si mescolano. Il primo gas passando dal volume v al volume V, acquista una elasticità x tale che, secondo la legge di Mariotte, si ha $\frac{x}{f} = \frac{v}{V}$, da cui $x = \frac{fv}{V}$. Egualmente la pressione del secondo gas diventa $\frac{f'v'}{V}$, e quella del terzo $\frac{f''v''}{V}$. Rappresentando con F la somma di queste tre forze elastiche, si ha $F = \frac{fv + f'v' + f''v''}{V}$; [1] tale deve essere anche la forza elastica del miscuglio. Infatti, supponiamo che il vaso nel quale si son fatti passare i tre gas sia una campana graduata piena di mercurio, abbastanza grande perchè essi non la riempiscano tutt'affatto; rappresentando con h l'altezza del mercurio che resta ancora nella campana dove che vi si sono fatti entrare i gas, e con H l'altezza barometrica al momento dell'esperienza, $H - h$ sarà la pressione sopportata dal miscuglio nella campana. Ora, la temperatura rimanendo costante, si osserva sempre che il valore di $H - h$ è lo stesso di quello di F ottenuto colla formola [1] suddetta; ciò che verifica la legge.

Nel caso in cui $f = f' = f''$, e $V = v + v' + v''$, si ha

$$F = \frac{f\,(v + v' + v'')}{v + v' + v''} = f.$$

Vale a dire che la pressione del miscuglio è la stessa di quella del gas prima di essere mescolati; era ciò che accadeva nella esperienza di Berthollet.

La seconda legge del miscuglio dei gas è conosciuta sotto il nome di *legge di Dalton*, fisico inglese che, pel primo, l'ha fatta conoscere.

Le mescolanze gasose sono soggette alla legge di Mariotte come i gas semplici; ciò che è già stato constatato per l'aria (152) che è un miscuglio di azoto e di ossigeno.

163. **Leggi delle mescolanze dei gas e dei liquidi.** — L'acqua e molti altri liquidi sono dotati della proprietà di lasciarsi penetrare dai gas. Ma, nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione, uno stesso liquido non assorbe quantità uguali di differenti gas. Per es., alla temperatura media di 10 gradi ed alla pressione $0^m,76$ l'acqua discioglie 25 millesimi del suo volume di azoto, 46 millesimi dello stesso volume di ossigeno, un volume uguale al proprio d'acido carbonico, e 450 volte il suo volume di gas ammoniaco. Il mercurio sembra rifiutarsi interamente alla penetrazione dei gas.

L'esperienza dimostra che le mescolanze dei gas e dei liquidi sono sottoposte alle tre leggi seguenti:

1.° *Per uno stesso gas, uno stesso liquido ed una stessa temperatura, il peso di gas assorbito è proporzionale alla pressione;* ciò vuol dire che a tutte le pressioni, il volume disciolto è lo stesso, ovvero anche che la densità del gas assorbito è in un rapporto costante con quella del gas esterno non assorbito.

2.° *La quantità di gas assorbito è tanto maggiore quanto più bassa è la temperatura,* cioè quanto minore è la forza elastica del gas.

3.° *La quantità di gas che un liquido può disciogliere è indipendente dalla natura e dalla quantità degli altri gas che tiene già in soluzione.* Infatti, se invece di un solo fluido elastico, l'atmosfera superiore al liquido ne contiene vari, si trova che ciascuno di questi gas, qualunque ne sia il numero, si discioglie come se fosse solo, cioè nella stessa proporzione, tenendo conto però della pressione che gli è propria. Per es., non formando l'ossigeno sensibilmente che $^1/_5$ dell'aria, l'acqua, nelle condizioni ordinarie, assorbe precisamente la stessa quantità di ossigeno

come se l'atmosfera fosse interamente formata da questo gas, sotto una pressione uguale a $^1/_5$ di quella dell'atmosfera.

Dietro la prima legge, allorchè la pressione diminuisce, deve decrescere anche la quantità di gas disciolto. Ciò appunto si verifica collocando una soluzione gasosa sotto la campana della macchina pneumatica e facendo il vuoto: si scorge il gas ubbidire alla sua forza espansiva e sfuggire in bolle. Lo stesso effetto si ottiene coll'innalzamento della temperatura, perchè la forza elastica del gas disciolto aumenta.

164. **Coefficiente di assorbimento.** — Si chiama *coefficiente di assorbimento* o *di solubilità* di un gas per riguardo ad un liquido, *il rapporto del volume del gas che si scioglie col volume del liquido,* il gas ed il liquido essendo ambedue alla temperatura di zero, e il volume di gas assorbito essendo ricondotto alla pressione che esercita sul liquido.

Il coefficiente di assorbimento varia a seconda dei gas e dei liquidi, ma per uno stesso gas e uno stesso liquido, se la temperatura è costante, esso è invariabile qualunque sia la pressione. Tuttavia se il volume del gas assorbito è costante, non è lo stesso del suo peso, il quale è sempre proporzionale al coefficiente di assorbimento del gas, alla sua densità ed alla pressione.

165. **Problema sulle mescolanze dei gas e dei liquidi.** — Come applicazione della prima legge delle mescolanze di gas e di liquidi, sia proposto di calcolare qual è la composizione, in volume, dell'aria in soluzione nell'acqua, alla temperatura media di 10 gradi, il coefficiente di assorbimento dell'ossigeno a questa temperatura essendo 0,046, e quello dell'azoto 0,025. Perciò, sia H la pressione atmosferica, l'aria contenendo, in 100 parti in volume, 21 parti di ossigeno e 79 di azoto, la pressione dell'ossigeno, considerato solo, è $\frac{21\,H}{100}$, e quella dell'azoto $\frac{79\,H}{100}$. I volumi di questi due gas contenuti nell'acqua sono dunque tra loro come i prodotti $\frac{21\,H}{100} \times 0{,}046$ e $\frac{79\,H}{100} \times 0{,}025$; o, effettuando i calcoli e semplificando, come i numeri 966 e 1975. Ora, la somma di questi due numeri essendo 2941, se si rappresenta con x il volume di ossigeno contenuto in 100 parti di aria disciolto, si ha $\frac{x}{100} = \frac{966}{2941}$, da cui $x = 32{,}84$. L'aria sciolta nell'acqua è dunque più ricca in ossigeno dell'aria atmosferica, poichè ne contiene quasi il 33 per 100.

166. **Equilibrio dei fluidi le di cui diverse parti non hanno la stessa densità.** — In una massa fluida, tanto liquida che gasosa, l'equilibrio non può sussistere se non nel caso, in cui essendo eguale la pressione su tutti i punti di ciascuno strato orizzontale (80), lo stesso avvenga della densità; altrimenti, le parti meno dense si innalzano nella massa fluida a guisa dei corpi galleggianti (97), e le più dense si abbassano. Per conseguenza perchè una massa fluida si conservi in equilibrio, bisogna: 1.° *che la densità sia la stessa per tutti i punti di uno strato orizzontale;* 2.° perchè l'equilibrio sia stabile, *gli strati fluidi debbono essere disposti in ordine di densità crescenti dall'alto al basso* (88).

Ora siccome i gas ed i liquidi sono assai dilatabili per l'azione del calorico, la loro densità decresce coll'aumentare della temperatura; per

conseguenza la seconda condizione suaccennata non può essere soddisfatta, almeno pei liquidi, se non quando gli strati inferiori sono più freddi dei superiori. Ma pei gas, che sono assai compressibili, non è necessario che gli strati superiori siano più caldi degli inferiori; perchè questi ultimi essendo più compressi, tendono ad esser più densi. Basta adunque che la densità aumenti, per effetto della pressione, negli strati inferiori, più di quello che decresca per l'innalzamento della temperatura; questo appunto ha luogo, in generale, nell'atmosfera.

Le correnti che nascono in una massa fluida per effetto delle differenze di densità cagionate dalle differenze di temperatura dei diversi strati, hanno ricevuta la loro applicazione nel tirante dei camini e negli apparati di riscaldamento a circolazione d'acqua calda. Noi daremo queste applicazioni (lib. VI, cap. XI) dopo aver fatta conoscere la dilatazione dei liquidi e dei gas.

CAPITOLO III.

PRESSIONI SOSTENUTE DAI CORPI IMMERSI NELL'ARIA, AEROSTATI

167. Principio d'Archimede applicato ai gas. — Abbiamo già veduto (131) che quegli stessi ragionamenti che hanno condotto al principio di Archimede pei liquidi sono applicabili, parola per parola, anche ai gas; da che si conchiude che *qualunque corpo immerso nell'atmosfera vi perde una parte del proprio peso eguale al peso dell'aria che esso sposta*.

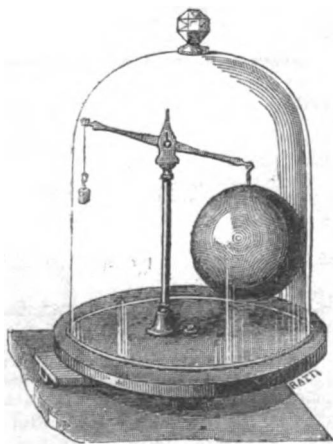



Fig. 107 (a = 20).

Questa perdita di peso, nell'aria, si dimostra mediante il *baroscopio*. Chiamasi così un apparato che consiste in un giogo di bilancia, il quale porta all'una delle sue estremità una piccola massa di piombo, ed all'altra una sfera cava di ottone, il di cui volume è circa un decimetro cubo (fig. 107). Nell'aria i due corpi si fanno equilibrio; ma se si colloca l'apparato sotto la campana della macchina pneumatica e si fa il vuoto, si vede il giogo inclinarsi dal lato della grossa sfera, come mostra la figura; locchè indica che in realtà essa pesa più della piccola massa di piombo, perchè attualmente esse non sopportano alcuna pressione e non ubbidiscono che alla gravità. Adunque, nell'aria, la sfera perdeva una certa parte del suo peso. Se si vuol verificare, mediante lo stesso apparato, che questa perdita è veramente uguale al peso dell'aria spostata, si misura il volume della sfera, che noi supporremo eguale ad un mezzo litro. Siccome il peso di egual volume d'aria è $0^{gr},65$ (128),

si aggiunge questo peso alla piccola massa di piombo; l'equilibrio che dapprima aveva luogo, nell'aria, più non sussiste; ma nel vuoto si ristabilisce.

Siccome il principio di Archimede si verifica pei corpi immersi nell'aria, si può loro applicare tutto ciò che si disse pei corpi immersi nei liquidi (97), cioè che quando un corpo è più pesante dell'aria, cade, per l'eccesso del suo peso rispetto alla spinta del fluido. Se è della stessa densità dell'aria, il suo peso e la spinta dal basso all'alto si fanno equilibrio, ed il corpo galleggia nell'atmosfera. Finalmente, se il corpo è meno denso dell'aria, prevale la spinta ed il corpo si innalza nell'atmosfera fin quando incontra degli strati d'aria di densità uguale alla sua. La forza d'ascesa è in questo caso eguale all'eccesso della spinta relativamente al peso del corpo. Questa è la causa per cui il fumo, i vapori, le nubi, gli aerostati si innalzano nell'atmosfera.

168. **Correzione delle pesate fatte nell'aria.** — Vedemmo poc'anzi che i corpi perdono, nell'aria, una parte del loro peso eguale al peso dell'aria che essi spostano; di conseguenza quando si pesa un corpo con una bilancia, non è il suo peso reale, cioè nel vuoto, che si ottiene, ma solamente il suo peso apparente, a meno però che il volume del corpo non sia precisamente lo stesso di quello dei pesi graduati che gli fanno equilibrio, giacchè in tal caso vi è perdita eguale dalle due parti.

Per dedurre dal peso apparente di un corpo il suo peso reale, siano p il suo peso reale in chilogrammi, e d la sua densità. $\frac{p}{d}$ sarà il volume del corpo in litri, secondo la formola $P = VD$ (100); e il peso di un litro d'aria essendo chil. 0,001293, quello dell'aria spostata dal corpo è di chil. $0{,}001293 \times \frac{p}{d}$. Dunque il suo peso apparente è

$$p - \text{chil. } 0{,}001293 \times \frac{p}{d} = p\left(1 - \frac{\text{chil. } 0{,}001293}{d}\right).$$

Rappresentando con P i pesi graduati che fanno equilibrio al corpo, con D la densità della loro sostanza, si troverà egualmente che il loro peso apparente è

$$P\left(1 - \frac{\text{chil. } 0{,}001293}{D}\right).$$

Ma questi due pesi apparenti sono eguali; dunque si ha

$$p\left(1 - \frac{\text{chil. } 0{,}001293}{d}\right) = P\left(1 - \frac{\text{chil. } 0{,}001293}{D}\right),$$

equazione che dà il valore di p.

Nella soluzione di questo problema, si suppose la pesata fatta a zero sotto la pressione di $0^m{,}76$. Per risolvere la quistione in tutta la sua generalità, si deve tener conto non solo delle variazioni di temperatura e di pressione, ma anche di quelle del vapore di acqua contenuto nell'atmosfera, poichè esso modifica il peso dell'aria spostata. Questo rigore nelle pesate non è indispensabile quando si pesano corpi pesantissimi, come i metalli, ma lo diviene quando si pesano gas o vapori; perciò questa quistione verrà ripresa quando si sarà detto delle dilatazioni dei gas (290 e 351).

AEROSTATI

169. **Scoperta degli aerostati.** — Gli *aerostati* o *palloni* sono globi di stoffa leggera ed impermeabile, che riempiti d'aria calda o di gas idrogeno, si innalzano nell'atmosfera in virtù della loro leggerezza relativa.

L'invenzione degli aerostati è dovuta ai fratelli Stefano e Giuseppe Montgolfier, fabbricatori di carta nella piccola città d'Annonay, ove la prima prova ebbe luogo il 5 giugno 1783. Questo primo pallone era

un globo di tela ricoperto di carta, della circonferenza di 36 metri e del peso di 250 chilogrammi. Aperto alla parte inferiore, fu gonfiato ad aria calda, abbruciandovi al disotto della carta, della lana e della paglia bagnata.

« A questa notizia, scriveva l'accademico Lalande, noi tutti dicemmo: Così deve essere; come mai non ci avevamo pensato? » Vi si era pensato, ma avvi una grande differenza fra il concepire un'idea ed il mandarla ad effetto. Black, professore di fisica ad Edimburgo, aveva annunciato nelle sue lezioni, nel 1767, che una vescica piena d'idrogeno si innalzerebbe naturalmente nell'atmosfera; ma non ne fece mai l'esperienza riguardandola come di puro divertimento. Finalmente, Cavallo, nel 1782, comunicò alla Società reale di Londra alcune esperienze da lui fatte, che consistevano nel riempire d'idrogeno delle bolle di sapone le quali si innalzavano da sè sole nell'atmosfera, perchè il gas che le riempiva era più leggero dell'aria.

Checchè ne sia, i fratelli Montgolfier non conoscevano l'esperienza di Cavallo nè quella di Black, quando fecero la loro scoperta. Siccome essi riempivano i loro palloni solo di aria calda, così a questi palloni si diede il nome di *mongolfieri*, per distinguerli dagli aerostati ad idrogeno, i soli usitati al dì d'oggi.

Charles, professore di fisica a Parigi, morto nel 1823, fu il primo che sostituì il gas idrogeno all'aria calda. Il 27 agosto 1783, si fece innalzare al campo di Marte un pallone così gonfiato. « Giammai, scrive Mercier, fu data una lezione di fisica davanti ad un uditorio più numeroso e più attento. »

Il 21 novembre dello stesso anno, Pilâtre de Rozier intraprese, in compagnia del cavalier d'Arlandes, il primo viaggio aereo con un pallone libero ad aria calda. L'ascesa ebbe luogo nel giardino della Muta vicino al bosco di Boulogne. Gli aeronauti mantenevano al disotto del pallone un fuoco di paglia bagnata per mantenere la dilatazione dell'aria interna: il fuoco poteva adunque a ciascun istante comunicarsi all'inviluppo.

Dieci giorni dopo, nel giardino delle Tuileries, Charles e Robert ripetevano lo stesso esperimento con un pallone a gas idrogeno.

Il 7 gennaio 1785, Blanchard, in compagnia del dottor Jeffries, fece pel primo il traverso da Douvres a Calais. I due aeronauti non raggiunsero le coste della Francia che a grande stento, e dopo aver gettati in mare persino i loro vestimenti per rendere il pallone più leggero.

In seguito si fece un numero considerevole di ascensioni. Quella che fece Gay-Lussac, nel 1804, fu la più rimarchevole pei fatti di cui arricchì la scienza, e per l'altezza che questo celebre fisico raggiunse, altezza che fu di 7016 metri al disopra del livello del mare. In seguito, Green si innalzò ancor maggiormente. A tale altezza, il barometro era disceso a 32 centimetri, ed il termometro centigrado, che segnava 31 gradi alla superficie del suolo, era allora a 9°, 5 al disotto dello zero. Una recente salita diede, per la stessa altezza, una temperatura ancor più bassa.

In queste alte regioni, la secchezza era tale, nel giorno dell'ascensione di Gay-Lussac, in giugno, che le sostanze igrometriche, quali la carta, la pergamena, si essiccavano e si contorcevano come se fosser avvicinate al fuoco. La respirazione e la circolazione del sangue si acceleravano per la grande rarefazione dell'aria: Gay-Lussac constatò che

il suo polso dava allora 120 pulsazioni, mentre nelle circostanze normali ne dava 66. Ad un'altezza sì grande, il cielo prende una tinta turchino-cupa, volgente al nero, ed un silenzio assoluto e solenne circonda l'aeronauta.

Innalzandosi nel cortile del Conservatorio d'arti e mestieri, Gay-Lussac discese vicino a Rouen, dopo sei ore, avendo fatte circa 30 leghe.

170. **Costruzione, gonfiamento ed ascensione degli aerostati.** — L'inviluppo degli aerostati è formato di lunghi fusi di taffetà uniti insieme e coperti d'una vernice di caoutchouc, che rende impermeabile il tessuto. Alla sommità del pallone avvi una valvola tenuta ben chiusa da una sosta interna, e che l'aeronauta può aprire, quando più gli

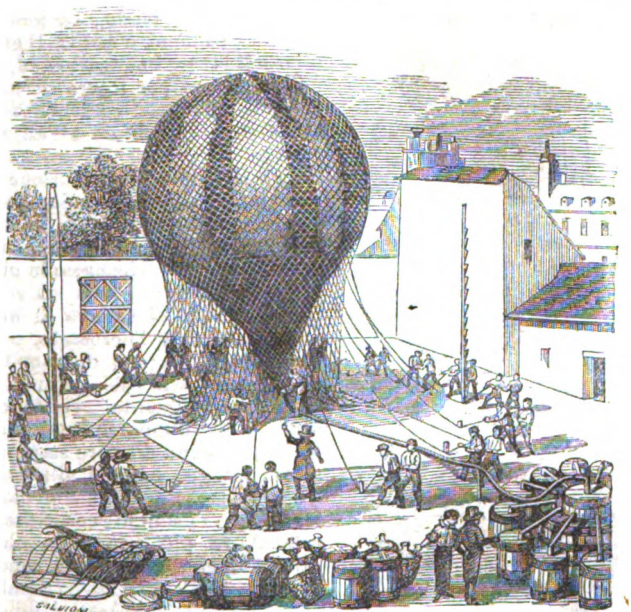



Fig. 108 (a. = 15m).

piaccia, mediante una funicella. Al disotto del pallone pende una leggera navicella o galleria di vimini, nella quale possono collocarsi parecchie persone, sostenuta da una rete di corda che avvolge tutto il pallone (fig. 108 e 109).

Un pallone di dimensioni ordinarie, capace di elevare facilmente tre persone, ha circa 15 metri d'altezza ed 11 di diametro, ed il suo volume, quando è completamente gonfiato, è circa di 700 metri cubi. L'inviluppo pesa 100 chilogrammi, ed i pezzi accessori, quali la rete, la navicella, 50 chilogrammi.

I palloni si gonfiano tanto coll'idrogeno puro, quanto coll'idrogeno carbonato che serve per l'illuminazione. Quantunque questo secondo gas

sia più denso del primo, pure è quello che al presente, in generale, si usa, perchè lo si ottiene più facilmente ed a minor costo dell'idrogeno puro. Difatti, basta guidarlo dal gasometro più vicino fino all'aerostato, mediante un condotto di tela gommata.

Fig. 109.

La figura 108 rappresenta un pallone gonfiato con idrogeno puro. Sulla destra del disegno stanno parecchie botti nelle quali vi sono dei frammenti di ferro, dell'acqua e dell'acido solforico, sostanze necessarie per la preparazione dell'idrogeno. Da ciascuna botte, il gas passa sotto una botte centrale, priva di fondo, ed immersa in una tinozza piena d'acqua. Il gas, dopo d'essersi lavato in quest'acqua, si porta nell'aerostato per mezzo di un lungo tubo di tela, fissato ad una estremità alla botte centrale ed all'altra all'aerostato.

Per facilitare l'introduzione del gas nel pallone, si erigono due pali; alla loro sommità sono fissate delle carrucole, nella gola delle quali viene allogata una fune, che passa in un anello unito alla corona della valvola. Con questo mezzo, si solleva di circa un metro dal suolo l'aerostato, e vi si fa pervenire il gas; poi, di mano in mano che il gas passa nel pallone, questo si solleva alquanto avendo cura di aiutarlo a svilupparsi fintanto che non ha più bisogno d'essere sostenuto. Ma allora bisogna opporsi alla sua forza d'ascensione. Per ciò alcuni uomini lo trattengono mediante corde fissate alla rete. Altro più non resta che a togliere il tubo che servì a condurre il gas ed attaccare la navicella alla rete. Questi diversi preparativi esigono almeno due ore. L'aeronauta si colloca infine nella sua navicella; ad un dato segnale si abbandonano le corde, ed il pallone s'innalza con una velocità tanto maggiore, quanto più leggero è desso in rapporto all'aria spostata (figura 109).

È d'importanza che non accada il completo gonfiamento del pallone; poichè siccome la pressione atmosferica diminuisce quanto più egli s'innalza, il gas interno si dilata in virtù della sua forza espansiva, e tende a farlo scoppiare.

Basta che la forza ascendente, l'eccesso di peso cioè dell'aria spostata sul peso totale dell'apparato, sia di 4 a 5 chilogrammi. Egli è duopo osservare che questa forza non varia per tutto il tempo che il

pallone non è completamente gonfiato dalla dilatazione del gas interno. Infatti, se la pressione atmosferica, per es., diminuì della metà, il gas dell'aerostato, giusta la legge di Mariotte, raddoppiò il volume. Ne risulta che anche il volume dell'aria spostata è raddoppiato: d'altronde questa trovasi ridotta alla metà di sua densità: dunque il suo peso, e per conseguenza la spinta dal basso all'alto, non hanno cambiato. Ma quando il pallone è completamente gonfiato continua ad innalzarsi, la forza ascendente decresce: imperciocchè rimanendo costante il volume dell'aria spostata diminuisce la sua densità. Giunge quindi un momento in cui la spinta è uguale al peso del pallone. In allora il pallone non si move che in direzione orizzontale, cedendo alle correnti d'aria che regnano nell'atmosfera.

L'aeronauta non può conoscere se sale o discende, se non dietro le indicazioni del barometro. Nel primo caso la colonna di mercurio si abbassa, e nel secondo si innalza. Mediante lo stesso istrumento può valutare l'altezza in cui si trova. Anche una lunga banderuola fissata alla galleria (fig. 109), a seconda della posizione che prende al di sotto o al di sopra di quest'ultima, avverte se il pallone aerostatico sale o discende.

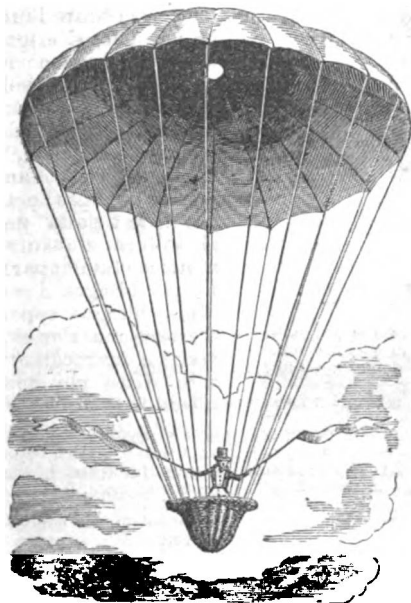



Fig. 110.

Allorchè l'aeronauta vuol discendere, tira la funicella che apre la valvola collocata nella parte superiore del pallone: l'idrogeno si mescola allora coll'aria esterna, ed il pallone cala. Al contrario, onde rallentare la discesa quand'è troppo rapida, o risalire se questa avviene in un

luogo pericoloso, l'aereonauta vuota dei sacchetti di tela pieni di sabbia, che recò seco in quantità sufficiente. Così alleggerito il pallone ascende di nuovo per discendere in un luogo che offra maggiore opportunità. Si facilita la discesa anche sospendendo con una lunga corda un'áncora alla navicella. Qualora l'áncora siasi fissata ad un ostacolo qualunque l'aereonauta ritirando a sè la corda lentamente discende.

Applicazioni importanti non ebbero finora gli aerostati. Alla battaglia di Fleurus (1794), mediante un pallone schiavo, cioè trattenuto da una corda, un osservatore, che si trovava in esso, faceva conoscere col mezzo di segnali i movimenti dell' esercito nemico. Parecchie salite si effettuarono all' intento di fare delle osservazioni meteorologiche nelle alte regioni dell'atmosfera. Ma gli aerostati non potranno mai essere utilmente impiegati, se non quando ne sarà dato di dirigerli. I tentativi finora fatti fallirono completamente. Oggidì altro non resta che a salire nell'atmosfera finchè s'incontri una corrente d'aria, che più o meno favorevolmente ne trasporti nella fissata direzione.

171. **Paracadute.** — Il *paracadute* permette all'aereonauta di abbandonare il pallone, fornendogli il mezzo di rallentare la velocità della caduta. Quest'apparato è formato di una vasta tela circolare (fig. 110) del diametro di 5 metri circa, e che per l'effetto della resistenza dell'aria, si distende sotto forma d'un ampio ombrello, e lentamente cade. Al suo lembo son fissate delle corde che sostengono una navicella, in cui si colloca l'aereonauta. Nel centro del paracadute è praticato un'apertura, dalla quale sfugge l'aria compressa per effetto della discesa. Mancando quest'apertura, si produrebbero delle oscillazioni, che comunicandosi alla navicella potrebbero riescire pericolose.

Nella figura 109 si vede, lateralmente al pallone, un paracadute piegato ed attaccato alla rete mediante una corda, che passa nella gola di una puleggia ed è fissata alla navicella. Sciolta questa fune, il paracadute abbandona l'aerostato.

G. Garnerin discese pel primo col paracadute: ma chi l'inventò pare sia stato Blanchard.

172. **Calcolo del peso che può sollevare un pallone.** — Per calcolare il peso che può innalzare un pallone di date dimensioni, supponiamolo perfettamente sferico, e ricordiamo le formole che danno il volume e la superficie della sfera in funzione del raggio. Esse sono $V = \frac{4\pi R^3}{3}$, e $S = 4\pi R^2$, π essendo il rapporto della circonferenza al diametro e eguale a 3,1416. Ciò posto, il raggio R essendo misurato in decimetri, siano p il peso del metro quadrato di taffetà di cui è formato il pallone, P il peso della navicella e de' suoi accessori, a il peso di un litro di aria a zero ed alla pressione $0^m,76$, e a' il peso di un litro di idrogeno nelle stesse condizioni. Il peso totale dell'involucro, in chilogrammi, è dunque rappresentato da $\frac{4\pi R^2 p}{100}$; quello dell'idrogeno da $\frac{4\pi R^3 a'}{3}$; e quello dell'aria spostata, da $\frac{4\pi R^3 a}{3}$: è la spinta. Rappresentando con X il peso che il pallone può portare, si ha dunque:

$$X = \frac{4\pi R^3 a}{3} - \frac{4\pi R^3 a'}{3} - \frac{4\pi R^2 p}{100} - P,$$

o

$$X = \frac{4\pi R^3}{3}\left(a - a'\right) - \frac{4\pi R^2 p}{100} - P.$$

Tuttavia, come si è veduto sopra, affinchè il pallone si innalzi, bisogna prendere per X un valore più piccolo di 5 chilogrammi circa di quello ottenuto da queste equazioni. Vi sono anche, in generale, delle correzioni di temperatura e di pressione da farsi ai pesi dell'aria e dell'idrogeno; e finalmente, nella pratica, si deve tener conto di ciò che il pallone non è mai completamente gonfio alla partenza, il che vale quanto dargli un volume minore di quello calcolato colla formola $\frac{4 \pi R^3}{3}$.

CAPITOLO IV.

APPARATI FONDATI SULLE PROPRIETÀ DELL'ARIA

173. **Macchina pneumatica.** — La *macchina pneumatica* è un apparato che serve a fare il vuoto in uno spazio determinato, o, più rigorosamente, a rarefare l'aria, poichè essa non può dare il vuoto assoluto.

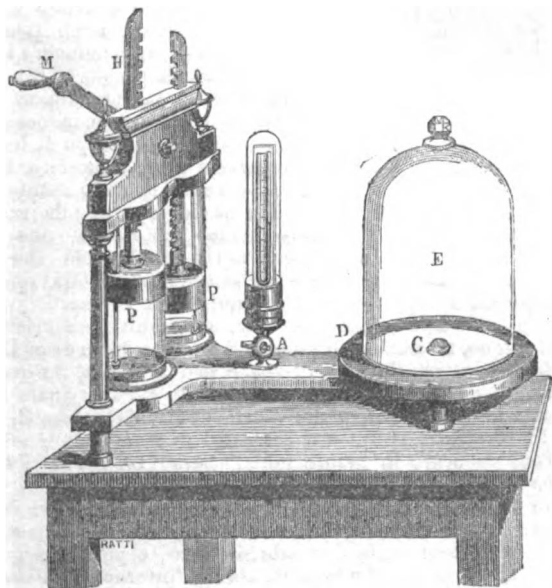



Fig. 111 (a. = 70).

Questa macchina venne inventata da Ottone di Guéricke, borgomastro di Magdeburgo, nel 1650, pochi anni dopo l'invenzione del barometro. Questo fisico diede alla sua macchina un solo corpo di tromba. Hawksbee, fisico inglese, adottò pel primo due corpi di tromba, e mediante questo perfezionamento fe' sì che meno penosamente e con più

pronto effetto si potesse servirsi di questa macchina; giacchè le pressioni esercitate dall'atmosfera sui due stantuffi facendosi equilibrio, non si ha da vincere che la differenza delle pressioni esercitate al disotto degli stantuffi, in virtù della forza elastica dell'aria che si trova nei corpi di tromba.

Fig. 112.

Come la si costruisce al giorno d'oggi, la macchina pneumatica si compone di due cilindri di cristallo in ciascuno dei quali è uno stantuffo P (fig. 111). La fig. 112 dà in una scala maggiore la sezione di uno di questi stantuffi. Esse è formato da due dischi di ottone X, V, avvitati l'uno all'altro, e comprimenti tra loro una serie di rotelle di cuoio Z. Queste rotelle di un diametro un po' più grande dei due dischi sono imbevuti di olio, e scorrono a sfregamento dolce contro le pareti del corpo di tromba che esse chiudono ermeticamente. Al centro del disco superiore è avvitato un pezzo B, sul quale si attacca con un perno un'asta dentata H, che serve a muovere lo stantuffo mediante un rocchetto (fig. 114). Il pezzo B è forato in tutta la sua altezza da un canale destinato a mettere in comunicazione la parte inferiore del corpo di tromba colla parte superiore e coll'atmosfera. Finalmente nella parte centrale dello stantuffo è praticata una cavità aperta alla sua base in un foro conico, chiuso da una valvola *t*. Questa porta un'asta che si impegna nel pezzo B, ciò che impedisce alla valvola di spostarsi quando è sollevata. Una molla spirale *r* appoggia su questa valvola e tende a mantenerla chiusa.

I due corpi di tromba, alla loro base, sono uniti con mastice da un sostegno di ottone, terminato all'estremità opposta da un disco D (fig. 111), ricoperto da una lastra di vetro, grossa e ben levigata. Su questo disco, che chiamasi il *piatto*, si colloca il *recipiente* E, nel quale trattasi di praticare il vuoto. Nel centro del piatto evvi un'apertura C, che fa comunicare l'interno del recipiente coi corpi di tromba, per mezzo di un condotto rappresentato in pianta nella figura 113, e che si biforca secondo K*cbs* e K*cdo*.

La figura 114 rappresenta una sezione verticale anteriore dei corpi di tromba. Essa fa vedere come il rocchetto H, mosso dalla manovella MN, trasmetta il movimento alle due aste dentate, e per conseguenza agli stantuffi P e Q. Oltre le valvole collocate nell'interno degli stantuffi, due altre valvole *o* ed *s* si trovano alla base dei corpi di tromba. Esse sono coniche e fissate ciascuna ad un fustino di ferro (fig. 112), che trapassa per la grossezza degli stantuffi con dolce attrito. Queste valvole aprono e chiudono alternativamente la comunicazione tra i corpi di tromba ed il recipiente. Se lo stantuffo P, per es., discende, con esso pure discende il fustino di ferro, e fa chiudere la valvola *s*. Se invece sale, esso solleva seco la stanghetta e la valvola, ma per brevissimo tratto, giacchè la lunghezza della stanghetta è tale che tosto intoppa nel coperchio del

cilindro. Allora il fustino scorre nello stantuffo che continua a salire da sè.

Per comprendere come agisca questa macchina, basta considerare ciò che avviene in un corpo di tromba, poichè lo stesso accade nell'altro. Quando lo stantuffo Q, per es., si solleva dal fondo del cilindro per l'azione della manovella, esso trascina seco il fustino e la valvola *o*.

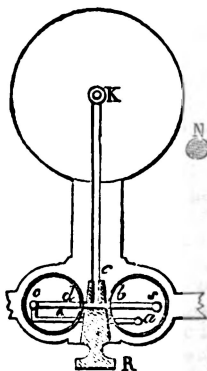



Fig. 116.

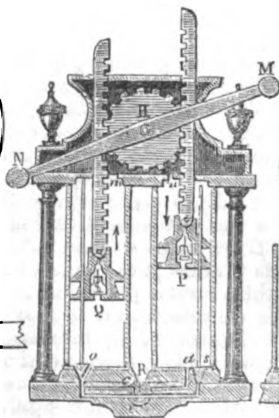
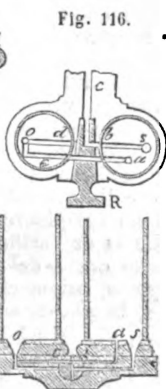



Fig. 113. Fig. 114. Fig. 115.

La valvola, che è nell'interno dello stantuffo, rimane chiusa durante la salita, in virtù del proprio peso e di quello dell'atmosfera: imperocchè i coperchi superiori dei corpi di tromba hanno delle piccole aperture *m* e *n*, per mezzo delle quali si trasmette la pressione esterna. Per tale disposizione di valvole, il vuoto tende a prodursi al disotto dello stantuffo mentre sale; ma l'aria del recipiente, obbedendo alla sua elasticità, passa in parte nel corpo di tromba mediante l'orifizio *o*. Se, per es., il volume del corpo di tromba è $\frac{1}{20}$ di quello del recipiente, $\frac{1}{21}$ della massa dell'aria di quest'ultimo passa nel corpo di tromba.

Quando lo stantuffo discende, la stanghetta della valvola *o* è trascinata dall'alto al basso, questa valvola si chiude, e l'aria del corpo di tromba non può ritornare nel recipiente. Continuando lo stantuffo a discendere, l'aria che è al disotto si comprime vieppiù, finchè la sua forza elastica, divenuta maggiore della pressione atmosferica, solleva la valvola che è nell'interno dello stantuffo. L'aria compressa passa allora al disopra di questo stantuffo, e per l'apertura *m* della sua parte superiore sfugge nell'atmosfera. Quando lo stantuffo è giunto all'imo della sua corsa, tutta l'aria che era stata estratta dal recipiente si trova sensibilmente espulsa. A un secondo colpo di stantuffo, la stessa serie di fenomeni si ripete, e così di seguito nei due corpi di tromba, fintantochè si raggiunga un limite, oltre il quale l'aria che proviene dal recipiente è siffattamente rarefatta, che più non può sollevare la valvola interna

dello stantuffo, fosse pure quest'ultimo all'imo della sua corsa. Infatti, per quanto ben costruita sia una macchina pneumatica, non si può evitare, al disotto delle valvole e sul contorno della faccia inferiore dello stantuffo, uno *spazio nocivo,* in cui prende posto una certa quantità di aria. Per conseguenza, quando la rarefazione è spinta abbastanza avanti, giunge un momento in cui, anche quando lo stantuffo s'applichi sulla base del corpo di tromba, l'aria chiusa nello spazio nocivo non acquista una tensione sufficiente per sollevare la valvola, e da questo momento la macchina non funziona più.

174. **Provino della macchina pneumatica.** — Dopo parecchi colpi di stantuffo si misura la forza elastica dell'aria, che resta nel recipiente, mediante la differenza di livello, che assume il mercurio nei due rami di un tubo di vetro curvato a sifone, l'uno dei quali è chiuso e l'altro aperto, come nei barometri. Questo piccolo istrumento, che si chiama *provino* o *barometro troncato*, perchè è un vero barometro a sifone, che ha un'altezza minore di 76 centimetri, è fissato ad una scala verticale, e collocato sotto una campana di cristallo (fig. 111), la quale comunica col recipiente E per mezzo di un robinetto A, posto sul condotto che va dall'orifizio C ai corpi di tromba. Finalmente, il ramo chiuso e la parte curva del tubo furono previamente riempiti di mercurio.

Ciò posto, prima che s'incominci ad aspirar l'aria, che è sotto il recipiente, la sua forza elastica fa equilibrio al peso della colonna di mercurio, che è nel ramo chiuso, e questo rimane pieno; ma di mano in mano che l'aria è rarefatta mediante il giuoco degli stantuffi, la forza elastica diminuisce, e tosto non può più equilibrare il peso della colonna di mercurio. Questa allora si abbassa, ed il mercurio tende a mettersi allo stesso livello nei due rami. Se fosse possibile di fare un vuoto assoluto, il mercurio si disporrebbe esattamente allo stesso livello, poichè non vi sarebbe pressione nè da una parte nè dall'altra. Ma, anche colle migliori macchine, l'altezza della colonna di mercurio nel ramo chiuso è almeno di un millimetro maggiore di quella dell'altro ramo. Pel che siamo avvertiti che il vuoto non è perfetto, poichè rimane ancora una quantità d'aria, la tensione della quale fa equilibrio ad una colonna di mercurio alta un millimetro. Si dice in tal caso che si è fatto il vuoto ad un millimetro.

Praticamente, la macchina pneumatica non può dare il vuoto assoluto, poichè, come abbiamo già osservato, arriva un istante in cui l'aria che rimane è talmente rarefatta, che anche quando gli stantuffi sono all'imo della loro corsa, la sua forza elastica non può vincere la pressione atmosferica che gravita sulle valvole collocate nell'interno degli stantuffi, e da quell'istante esse più non s'aprono. Teoricamente, il vuoto assoluto è anche cosa impossibile; giacchè essendo, a mo' d'esempio, il volume di ciascun corpo di tromba $\frac{1}{20}$ di quello del recipiente, si estrae, ad ogni colpo di stantuffo, solamente $\frac{1}{21}$ della massa dell'aria che resta nel recipiente; per conseguenza non si arriva ad espellere fuori tutta l'aria che esso contiene.

175. **Robinetto di Babinet.** — Babinet ha applicato alla macchina pneumatica un robinetto che permette di spingere la rarefazione dell'aria a un grado sommo. Questo robinetto è collocato alla biforcazione del

canale che conduce l'aria del recipiente ai due corpi di tromba; in esso trovansi praticati parecchi condotti che funzionano successivamente, girandolo in due diverse posizioni. La figura 113 rappresenta una sezione orizzontale del robinetto R, in tale posizione, che, mediante la sua apertura centrale e due aperture laterali, stabilisce la comunicazione tra l'orifizio K del piatto e le valvole *o* ed *s*. La macchina allora funziona come superiormente si disse (173). Nella figura 116, si fece ruotare il robinetto di un quarto di giro; il condotto traversale *db*, che era orizzontale nella figura 113, è ora verticale, ed i suoi orifizi si trovano chiusi dalle pareti che rivestono il robinetto. Ma un secondo condotto che prima non funzionava e che pigliò il posto del primo, mette attualmente il corpo di tromba, di destra *solo* in comunicazione col recipiente per mezzo del canale *cbs* (fig. 116), inoltre fa comunicare il corpo di tromba, che è a destra con quello che è a sinistra, mediante un condotto *aeo* (fig. 116), o *aico* (fig. 115). Questo condotto parte da un'apertura centrale *a*, situata alla base del corpo di tromba destro, e va alla valvola *o* dall'altro corpo di tromba attraversando il robinetto, come mostrano le figure 115 e 116; ma la comunicazione, che un tal condotto permetteva, viene interrotta dal robinetto, quando questo trovasi nella sua prima posizione, come si può vedere dalle figure 113 e 114.

Posto ciò, lo stantuffo destro, sollevandosi, aspira l'aria del recipiente; ma, quando discende, l'aria testè aspirata è respinta nel corpo di tromba sinistro attraverso l'orifizio *a*, il canale *ci* e la valvola *o* (fig. 115), che allora è aperta. Quando poi lo stesso stantuffo risale, quello a sinistra si abbassa; ma l'aria che è al disotto non ritorna nel corpo di tromba destro, poichè la valvola *o* è ora chiusa. Continuando in siffatta guisa lo stantuffo destro ad aspirar l'aria del recipiente e a respingerla nel corpo di tromba sinistro, l'aria si condensa in questo, e da ultimo acquista una tensione sufficiente per sollevare la valvola dello stantuffo Q; cosa impossibile prima della rotazione del robinetto, poichè non si ricorre alla medesima se non nel caso che le valvole collocate nell'interno degli stantuffi rifiutino d'aprirsi.

176. Usi della macchina pneumatica. — Abbiamo già fatto conoscere molte esperienze eseguite col mezzo della macchina pneumatica. Tali sono quelle della pioggia di mercurio (15), della caduta dei corpi nel vuoto (52), della vescica nel vuoto (127), del crepa-vescica (135), degli emisferi di Magdeburgo (135) e del baroscopio (167).

La macchina pneumatica serve anche a dimostrare che l'aria per l'ossigeno ch'essa contiene, è necessaria alla combustione ed alla vita. Infatti, se sotto il recipiente si colloca un corpo infiammato, per es. una candela accesa, si vede che la fiamma impallidisce di mano in mano che si fa il vuoto e quindi si spegne. I mammiferi e gli uccelli nel vuoto periscono subito. I pesci ed i rettili sopportano molto più a lungo la privazione dell'aria. Gli insetti poi ponno rimanere nel vuoto parecchi giorni senza morire.

Nel vuoto le sostanze fermentabili si conservano inalterate per lunghissimo tempo, non essendo desse in contatto coll'ossigeno che è necessario alla fermentazione. Alcuni alimenti conservati entro casse esattamente chiuse, dalle quali si aveva avuto cura di espeller l'aria, furono dopo parecchi anni rinvenuti freschi come il dì in cui ve li si collocarono.

La *fontana nel vuoto*, rappresentata nella figura 117, è pure un'esperienza che si fa colla macchina pneumatica, e che serve a dimostrare

l'espansibilità dell'aria. Consiste in una boccetta che contiene acqua ed aria. Il collo è chiuso da un turacciolo, attraverso il quale passa un tubo che pesca nel liquido. Collocata questa boccetta sotto il recipiente, appena che l'aria di questo vien rarefatta, vedesi l'acqua zampillare alla sommità del tubo, locchè devesi alla forza elastica dell'aria chiusa nella boccetta.

Finalmente, la figura 118 rappresenta un'esperienza che appalesa l'effetto della pressione atmosferica sul corpo umano. Un tubo di vetro di

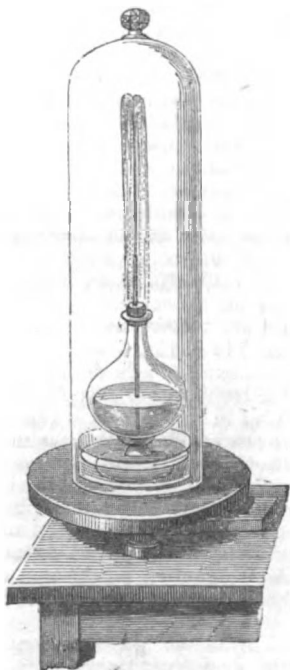



Fig. 117.

Fig. 118.

grande diametro, aperto alle sue estremità, è collocato sul piatto della macchina pneumatica. Se si pone il palmo della mano sugli orli del tubo e si fa il vuoto, allora più non equilibrandosi la pressione atmosferica sulle due facce della mano, questa è fortemente premuta contro gli orli del tubo, e non ne può essere staccata se non mediante uno sforzo. Inoltre, siccome l'elasticità dei fluidi, che gli organi contengono, non è più contrabbilanciata dal peso dell'atmosfera, la mano divien tumida e il sangue spiccia dai pori.

177. **Problema sulla macchina pneumatica.** — I. Calcolare la tensione dell'aria sotto il recipiente della macchina pneumatica dopo n colpi di stantuffo.

Siano V il volume del recipiente, v quello del corpo di tromba, fatta deduzione dello spazio occupato dallo stantuffo, e H la pressione atmosferica esterna. La macchina non avendo ancora funzionato, e lo stantuffo essendo al basso della sua corsa, si ha sotto il recipiente un volume d'aria V alla pressione H. Ora, quando lo stantuffo è giunto in alto della sua corsa, questo volume diventa $V + v$, e la tensione H prende un valore H' che si determina ponendo l'equazione, dietro la legge di Mariotte,

$$\frac{H'}{H} = \frac{V}{V+v}, \text{ da cui } H' = H.\frac{V}{V+v}.$$

Quando lo stantuffo si abbassa, il volume d'aria v è espulso, e si ha ancora sotto il recipiente lo stesso volume di aria V, ma alla tensione H'. Poi alla seconda ascesa dello stantuffo, il volume di aria diventa nuovamente V + v ad una tensione H'' tale, che, come anteriormente,

$$H'' = H' . \frac{V}{V+v} = H \left(\frac{V}{V+v}\right)^2.$$

Alla terza ascesa dello stantuffo si trova egualmente che la pressione sotto il recipiente è $H\left(\frac{V}{V+v}\right)^3$, e così di seguito; da cui si conclude che dopo l'n^{esimo} colpo di stantuffo, essa è finalmente

$$H\left(\frac{V}{V+v}\right)^n \quad [1].$$

L'espressione $\frac{V}{V+v}$ è necessariamente una frazione, e si sa che le potenze di una frazione sono tanto più piccole, quanto il grado ne è più elevato. Di conseguenza, secondo la formola [1], più n sarà grande, più la forza elastica sotto il recipiente sarà piccola; ma non è che quando n sarà infinito, che la frazione $\left(\frac{V}{V+v}\right)^n$ sarà nulla. Da che si conclude che tanto teoricamente, quanto praticamente, è impossibile di fare il vuoto assoluto colla macchina pneumatica.

II. Calcolare il peso dell'aria che resta sotto il recipiente dopo n colpi di stantuffo.

Codesta quistione è facile a risolversi poggiandosi sulla formola [1] data di sopra. Infatti, siano P il peso dell'aria sotto il recipiente prima che la macchina abbia funzionato, e p questo peso dopo n colpi di stantuffo. I pesi essendo proporzionali alle pressioni, si ha:

$$\frac{p}{P} = \frac{H\left(\frac{V}{V+v}\right)^n}{H}, \text{ o } \frac{p}{P} = \left(\frac{V}{V+v}\right)^n, \text{ da cui } p = P\left(\frac{V}{V+v}\right)^n.$$

Quanto a P, si sa già (153, prob. III), che il suo valore è dato dalla formola $P = \frac{\text{gr. } 1,293 \times H \times V}{76}$.

$$\text{Dunque } p = \frac{\text{gr. } 1,293 \times H \times V}{76}\left(\frac{V}{V+v}\right)^n \quad [2].$$

Nella risoluzione di questa quistione, si è supposto che la temperatura rimanesse costante a zero. Se essa varia, si vedrà, trattando delle dilatazioni dei gas la modificazione da recarsi alla formola [2].

178. **Macchina pneumatica a doppio effetto di Bianchi.** — Bianchi, costruttore a Parigi, ha adottato, da qualche anno, un sistema di macchina pneumatica che presenta molti vantaggi. Questa macchina, tutta di ferro fuso, non ha che un cilindro, che oscilla su di un asse orizzontale fissato alla sua base, come vedesi nella figura 119. Su di un sostegno egualmente di ferro fuso è montata un'asta orizzontale, con una ruota assai pesante V, che si fa girare mediante un manubrio M. A questa stessa asta è fissato un manubrio m che si articola colla estremità superiore della verga dello stantuffo. Ad ogni giro completo della ruota il cilindro fa dunque due oscillazioni sul proprio asse.

Ciò posto, la macchina è a doppio effetto, vale a dire che lo stantuffo PP (fig. 120) fa il vuoto tanto nel salire che nel discendere. Per ciò, esso è munito di una valvola b, che si apre dal basso in alto, come nella macchina ordinaria, e per di più la verga AA è cava, e nel suo interno

trovasi un tubo X di rame, destinato a dar esito all'aria che esce dalla valvola *b*. Alla parte superiore del cilindro trovasi una seconda valvola *a*, che si apre anch'essa dal basso in alto. Finalmente un'asta di ferro D attraversa, a sfregamento dolce, ed è terminata alle sue estremità da due valvole coniche *s* ed *s'*. Queste servono per aspirare l'aria

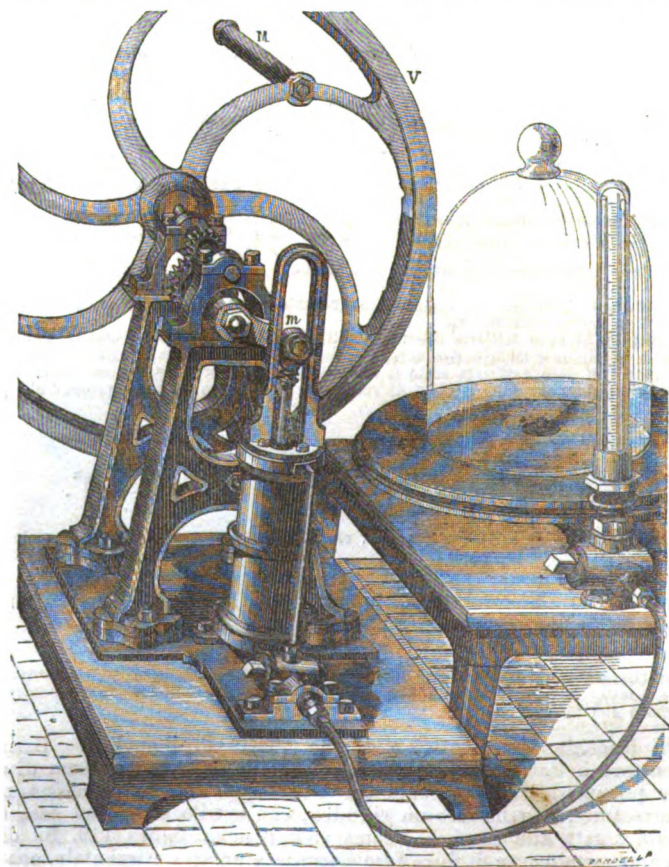



Fig. 119.

dal tubo BC che mette al recipiente in cui si pratica il vuoto, mentre le valvole *a* e *b* servono a dar uscita all'aria.

Ora, supponiamo che lo stantuffo discenda. In questo caso la valvola *s'* è chiusa e la valvola *s* essendosi aperta, l'aria del recipiente passa al disopra dello stantuffo, mentre che al disotto l'aria dal medesimo, compressa, solleva la valvola *b* ed esce pel tubo X che co-

munica coll'atmosfera. Quando lo stantuffo risale, l'aspirazione si fa per *s*, ed essendosi chiusa la valvola *s*, l'aria compressa esce per la valvola *a*.

La macchina è munita di un robinetto R, simile a quello già descritto (175), e di un sistema di ugnimento molto ingegnoso. A questo scopo uno scodellino E (120) applicato alla verga è ripieno d'olio, il quale va a cadere nello spazio anulare compreso tra la verga AA ed il tubo X; da questo spazio l'olio passa in un piccolo tubo *oo* praticato nel corpo dello stantuffo e, spinto dalla pressione atmosferica, esso si distribuisce senza interruzione sul contorno dello stantuffo. Noi dobbiamo qui omettere molti dettagli di costruzione, sebbene importanti, non comportandolo i limiti che ci siamo prefissi, e ci limiteremo ad osservare che, essendo tutta di ferro fuso, questa macchina può ricevere dimensioni molto più grandi della macchina ordinaria a due stantuffi, e praticare il vuoto in molto minor tempo, in apparecchi molto più grandi.

Fig. 120.

179. Macchina di compressione. — Chiamasi *macchina di compressione* (fig. 121) un apparato che serve a comprimere l'aria, o qualsivoglia altro gas. Non differendo essa in quanto alla forma dalla macchina pneumatica già descritta (fig. 111 e seg.), noi qui non ne daremo che una sezione longitudinale allo scopo di mostrare come le valvole si aprano dall'alto al basso, laddove nella macchina pneumatica si aprono dal basso all'alto. Queste valvole, delle quali l'una è rappresentata in *a*, alla base dello stantuffo, e l'altra in *o*, alla base del corpo di tromba (fig. 122), sono di forma conica, e vengono tenute chiuse da piccole soste spirali. Quando lo stantuffo P sale, l'aria si rarefa al disotto, la valvola *o* rimane chiusa in causa della molla, e la valvola *a* s'apre per l'effetto della pressione atmosferica, lo che permette all'aria esterna di rientrare nel corpo di tromba. Quando lo stantuffo discende, l'aria che è al disotto si comprime, la valvola *a* si chiude: la valvola *o* invece si apre e permette il passaggio all'aria, la quale portasi nel recipiente R. Ad ogni colpo di stantuffo la massa d'aria contenuta nel corpo di tromba passa in tal guisa nel recipiente. Tuttavia evvi un limite alla tensione che può assumere il gas compresso, poichè

giunge un momento in cui l'aria, che resta nel corpo di tromba, più non possiede, anche quando lo stantuffo è all'imo della sua corsa, una forza elastica superiore a quella dell'aria condensata nel recipiente, e

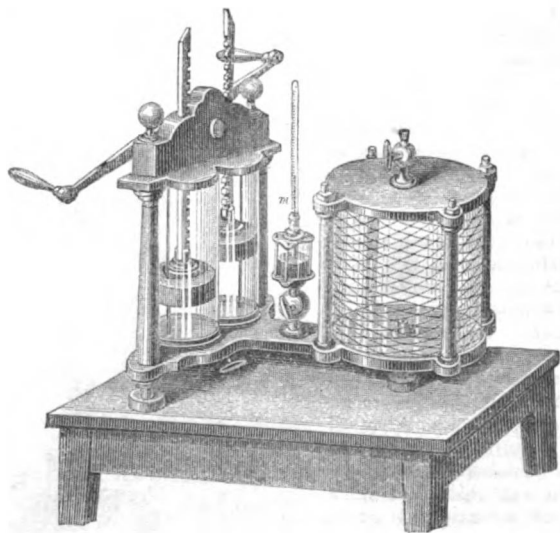



Fig. 121.

allora l'aria più non passa in quest'ultimo, attesochè le valvole più non si aprono.

Nella macchina di compressione la tensione dell'aria si misura mediante un piccolo manometro ad aria compressa che comunica col recipiente. Finalmente in questa macchina il recipiente deve essere saldamente fissato al piatto, altrimenti verrebbe sollevato dalla elasticità dei gas. A tal uopo consta di un ampio tubo di vetro di forma cilindrica, aperto alle due estremità, i cui orli sono oltremodo levigati. Da una parte esso si appoggia sul piatto A, e dall'altra è chiuso da un secondo piatto di vetro B, in cui sono praticati quattro fori nei quali passano quattro chiavarde di ferro D fissate sul piatto. Mediante queste chiavarde e le madreviti E, si collega strettamente il piatto B col cilindro.

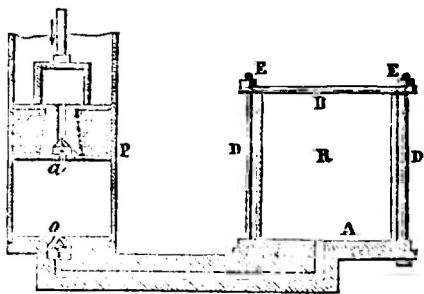



Fig. 122.

Ondo prevenire i sinistri che potrebbero aver luogo se il cilindro fosse spezzato dalla tensione del gas compresso, lo si recinge con una rete di filo di ferro.

La macchina di compressione, che abbiamo descritto, ha poche applicazioni. Per lo contrario è d'uso frequente sotto la forma seguente.

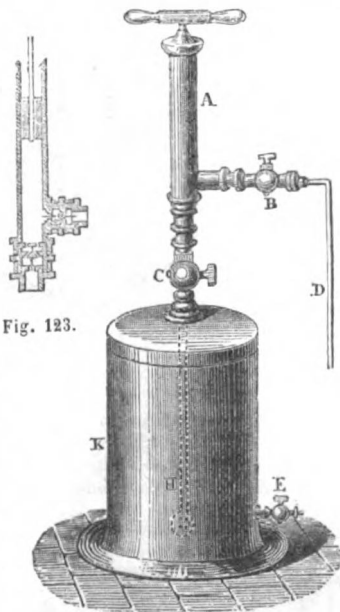
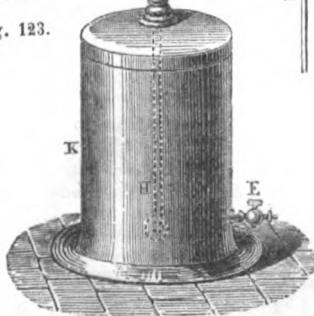
180. **Tromba di compressione.** — La *tromba di compressione*, che è una vera tromba premente, si compone semplicemente d'un corpo di tromba A di piccol diametro (fig. 124), nel quale si fa movere a mano, mediante un'impugnatura, uno stantuffo massiccio, vale a dire senza valvola. Il corpo di tromba termina con una vite, che permette di fissarlo sovra un recipiente K, nel quale trattasi di comprimere aria o un altro gas qualsivoglia. La figura 123 mostra come sieno disposte le valvole, le quali vengono costruite in modo che la valvola laterale *o* aprasi dall'esterno all'interno, e la valvola inferiore *s*, dall'interno all'esterno. Delle piccole soste spirali tengono chiuse queste valvole, che funzionano come nella macchina di compressione.

Fig. 123.

Fig. 124.

Tanto nella tromba di compressione quanto nella macchina precedente, il limite di compressione dipende dal rapporto esistente fra i due volumi d'aria sotto lo stantuffo, quando questo è all'alto e all'imo della sua corsa. Se il secondo volume, per es., è un sessantesimo del primo, non si potrà comprimere l'aria al di là delle 60 atmosfere, poichè, oltre quel limite la tensione nel recipiente K sarebbe maggiore di quella nel corpo di tromba, e allora la valvola inferiore di questo non potrebbe aprirsi per dare passaggio a una nuova quantità di aria.

Questo apparato serve specialmente a fare assorbire i gas dell'acqua. Perciò, si fa comunicare il robinetto B, mediante un tubo D, con un serbatoio pieno di gas che si vuol disciogliere, per es., pieno d'acido carbonico: la tromba aspira questo gas, e lo spinge nel vaso K, ove si discioglie in quantità tanto maggiore, quanto più è compresso (163, 1.°). Le acque gasose artificiali si fabbricano mediante analoghi apparati.

181. **Fontana di Erone.** — La *fontana di Erone* ritrae il suo nome da quello dell'inventore, che viveva in Alessandria 120 anni avanti l'êra cristiana. Essa componesi di una vaschetta di ottone D (fig. 125) e di due palloni di vetro M ed N, di 2 a 3 decimetri di diametro. La vaschetta è in comunicazione colla parte inferiore del pallone N per mezzo di un lungo tubo di ottone B. Un secondo tubo A fa sì che tra loro comunichino i due palloni. Finalmente un terzo tubo più piccolo attraversa la vaschetta e raggiunge la parte inferiore del pallone M.

Quest'ultimo tubo si toglie onde riempire d'acqua per metà il pallone medesimo. Quindi, ricollocato il tubo, si versa dell'acqua nella vaschetta. Il liquido scorrendo nel tubo B, si porta nel pallone inferiore, e ne espelle l'aria, spingendola nel pallone superiore. In questo l'aria compressa reagisce sull'acqua e la fa zampillare, come mostra la figura. Se la resistenza dell'aria e l'attrito non fossero, il liquido s'innalzerebbe, al disopra della vaschetta, a un'altezza uguale alla differenza di livello nei due palloni.

Il principio della fontana di Erone trovò un'applicazione nelle lampade idrostatiche di Girard.

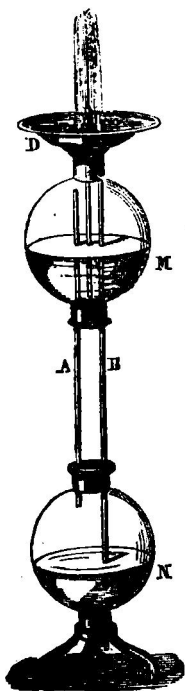
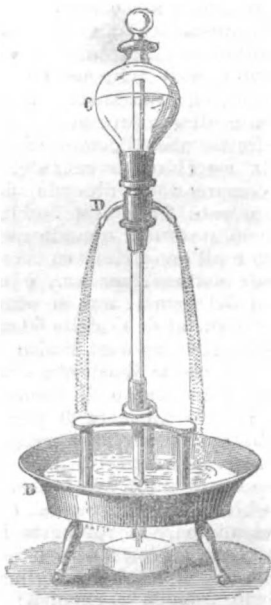



Fig. 125 (a. = 1m,17). Fig. 126 (a. = 65).

Gli apparati che abbiam descritto sono fondati sulla forza elastica dell'aria: i seguenti lo sono e su quella e sulla pressione atmosferica.

182. **Fontana intermittente.** — La *fontana intermittente* è formata d'un globo di vetro C (fig. 126) ermeticamente chiuso da un turacciolo smerigliato. Esso porta due o tre tubulature capillari D, per mezzo delle quali avviene l'efflusso. Un tubo di cristallo A, aperto alle sue estremità, penetra mediante una di queste nel globo C, e mediante l'altra mette capo ad un orifizio centrale praticato in una vaschetta d'ottone B che porta tutto l'apparato.

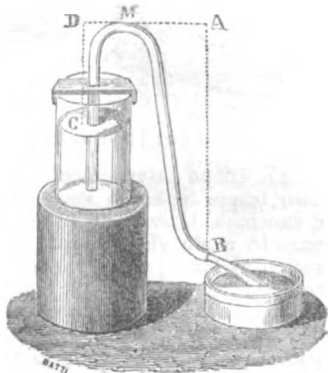
Riempito d'acqua il globo C per due terzi circa, il liquido effluisce dapprima dagli orifizi D, come mostra la figura, essendo la pressione interna in D eguale a quella dell'atmosfera che si trasmette per mezzo della parte inferiore del tubo di cristallo, più al peso della colonna di acqua CD, laddove esternamente la pressione dello stesso punto è soltanto quella dell'atmosfera. Queste condizioni sussistono fintantochè l'orifizio inferiore del tubo è aperto, vale a dire finchè la tensione dell'aria all'interno è uguale alla pressione atmosferica, poichè l'aria rientra di mano in mano che l'acqua effluisce: ma siccome l'apparato è disposto in modo che l'orifizio praticato sul fondo della vaschetta B lascia effluire una quantità d'acqua minore di quella proveniente dalle tubulature, il livello s'innalza a poco a poco nella vaschetta, e da ultimo avviene che il tubo peschi interamente nel liquido. Non potendo più allora l'aria esterna penetrare nel globo C, l'aria che vi si trova si rarefà di mano in mano che continua l'effiusso, e giunge un momento in cui la pressione dovuta alla colonna d'acqua CD e alla tensione dell'aria rinchiusa nell'apparato è eguale alla pressione esterna che si esercita in D. Per conseguenza l'effiusso cessa. Ora, continuando la vaschetta a vuotarsi, l'estremità del tubo si trova tosto fuori dell'acqua. L'aria allora rientra, l'efflusso ricomincia, e così di seguito fintantochè rimane acqua nel globo C.

183. **Sifone.** — Il *sifone* è un tubo curvato, a rami ineguali, che serve a travasare i liquidi. Il ramo più corto è quello che pesca nel liquido che si vuol travasare (fig. 127).

Onde usare di questo istrumento, si comincia a *caricarlo*, ossia a riempirlo di liquido. Perciò lo si capovolge, e lo si riempie direttamente; poi, chiudendo momentaneamente i suoi due orifizi, lo si rimette a posto come mostra la figura; oppure, immergendo il ramo corto nel liquido, si aspira colla bocca, per mezzo dell'orifizio B, l'aria che è nell'apparato. Producendosi allora il vuoto in questo, il liquido del vaso C è spinto nel tubo per l'effetto della pressione atmosferica e lo riempie

Fig. 127 (a. = 10).

Quando il liquido che si vuol travasare non è di natura tale da essere introdotto nella bocca, si fa uso di un sifone, al quale è saldato un secondo tubo M (fig. 128) parallelo al ramo più lungo. Allora mediante l'orifizio O di questo tubo addizionale si aspira l'aria, avendo cura di chiudere nello stesso tempo l'orifizio P, e di non permettere che il liquido si elevi nel tubo addizionale fino alla bocca. Qualunque poi sia il moto con cui venne riempiuto il sifone, l'efflusso continua dal ramo più corto verso il più lungo, fintantochè il primo pesca nel liquido.

Per intendere come abbia luogo quest'efflusso, bisogna osservare che la forza che preme il liquido in C (fig. 127) e lo sollecita ad effluire nella direzione CMB, uguaglia la pressione atmosferica, meno il peso

di una colonna d'acqua, l'altezza della quale è DC. Parimenti, in B la forza che sollecita il liquido nella direzione BMC è il peso dell'atmosfera meno quello di una colonna d'acqua avente per altezza AB. Ora quest'ultima colonna è maggiore di DC, ne consegue che la forza effettiva che agisce in B è minore di quella che agisce in C. L'effiusso ha dunque luogo in virtù della differenza di queste due forze. Per conseguenza, la velocità d'efflusso sarà tanto maggiore quanto maggiore sarà la differenza di livello tra l'orifizio B e la superficie del liquido nel vaso C.

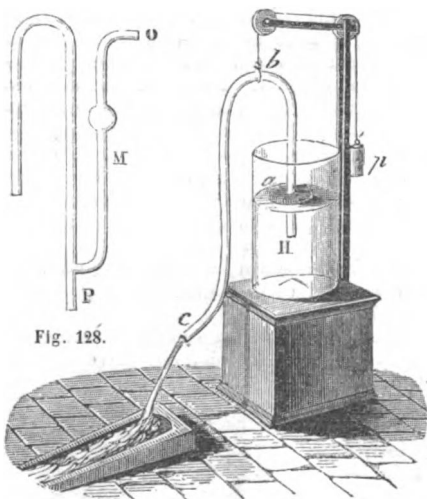



Fig. 128.

Fig. 129 (a. = 55).

Si conclude dalla teoria del sifone che questo strumento non potrà funzionare nè nel vuoto, nè nel caso che l'altezza CD fosse maggiore della colonna liquida che fa equilibrio alla pressione atmosferica.

184. **Sifone ad efflusso costante.** — Dietro l'esposto, affinchè nel sifone l'efflusso sia costante, bisogna che la differenza fra le altezze del liquido nei due rami sia sempre costante. Si ottiene questo risultato disponendo l'apparato come mostra la fig. 129. Il sifone è mantenuto in equilibrio da un galleggiante *a* e da un peso *p*, di modo che il sifone discende nel vaso H di mano in mano che in questo si abbassa il livello; la differenza tra le altezze *ab* e *bc* rimane adunque costante.

185. **Sifone intermittente, o vaso di Tantalo.** — Il *sifone intermittente,* come indica lo stesso suo nome, è quello nel quale l'efflusso non è continuo. Questo sifone è disposto in un vaso in modo che il ramo più corto aprasi vicino al fondo, ed il più lungo invece lo attraversi ed aprasi al di fuori (fig. 130). Essendo il vaso alimentato da una sorgente d'acqua costante, il livello vi si innalza a poco a poco, e nello stesso tempo nel ramo più corto sino alla sommità del sifone. Questo allora per l'effetto della pressione del liquido si carica, e l'efflusso ha luogo come mostra la figura. Ora siccome si ha cura che la portata del sifone sia maggiore di quella del tubo che alimenta il vaso, il livello si abbassa in questo, e tostamente il ramo più corto cessa di pescare; il sifone allora si vuota, e l'efflusso è interrotto. Ma continuando il vaso ad essere alimentato dalla sorgente costante, il livello di nuovo s'innalza, e periodicamente si ripete la medesima serie di fenomeni.

Fig. 130.

La teoria del sifone intermittente spiega le fontane intermittenti naturali che si osservano in parecchie contrade. Sonvene talune che danno acqua pel corso di più giorni e più mesi, poi si arrestano per un lasso di tempo più o meno lungo, tornando in seguito le acque a scaturire di nuovo; talaltre invece interrompono e ripigliano il loro efflusso più volte in un'ora.

Questi fenomeni si spiegano ammettendo delle cavità sotterranee che si riempiono più o meno lentamente d'acqua per mezzo di sorgenti, e che si vuotano quindi per mezzo di fessure disposte nel suolo in modo da formar sifone intermittente.

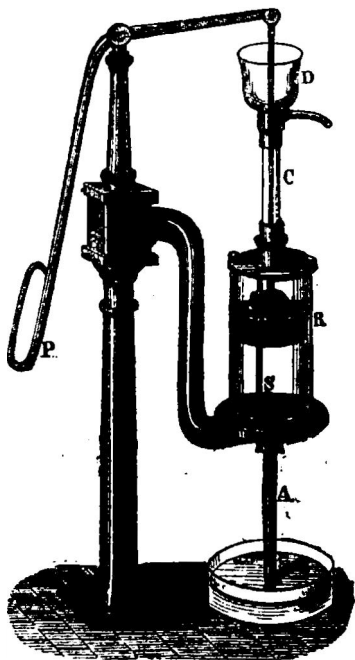
186. **Diverse specie di trombe.** — Le *trombe* sono macchine che servono ad innalzar l'acqua per aspirazione, per pressione o pei due effetti combinati; da ciò nasce la loro divisione in *tromba aspirante, tromba premente,* e *tromba aspirante e premente.* Prima di Galileo attribuivasi l'ascesa dell'acqua nelle trombe aspiranti all'*orrore della natura pel vuoto;* ma questo fenomeno è semplicemente un effetto della pressione atmosferica.

187. **Tromba aspirante.** — La figura 131 rappresenta un modello di tromba aspirante destinato alla dimostrazione, e che offre le stesse disposizioni delle trombe usitate nell'industria. Essa componesi: 1.° di un *corpo di tromba* cilindrico R, di vetro, alla base del quale è una valvola S, che si apre dal basso all'alto; 2.° d'un tubo d'aspirazione A, che pesca nel serbatoio del quale vuolsi elevar l'acqua; 3.° d'uno *stantuffo,* che un fusto fa salire o discendere nel corpo di tromba, e nel quale è praticato un foro, l'orifizio superiore del quale è coperto da una valvola che si apre pure dal basso all'alto. Una *manovella* P serve a mettere in movimento il fusto e lo stantuffo.

Fig. 131 (a. = 75).

Sollevando lo stantuffo che si trova all'imo della sua corsa, il vuoto tende a prodursi al disotto, e la valvola O resta chiusa a motivo della pressione atmosferica, laddove l'aria del tubo A, in virtù della sua elasticità solleva la valvola S e passa in [illegible] nel corpo di tromba. Venendo per tal modo rarefatta l'aria, l'acqua sale nel tubo finchè la pressione della colonna liquida sollevata, aggiunta alla tensione dell'aria rarefatta che rimane nel tubo, faccia equilibrio alla pressione atmosferica esercitata sull'acqua del serbatoio.

Quando lo stantuffo discende, la valvola S si chiude pel proprio peso, e si oppone al ritorno dell'aria del corpo di tromba nel tubo d'aspi-

razione. L'aria, compressa dallo stantuffo, apre allora la valvola O, e passa nell'atmosfera mediante il tubo C, che è al disopra del corpo di tromba e che si chiama *tubo d'ascesa*. A un secondo colpo di stantuffo, si riproduce la medesima serie di fenomeni, e dopo alcuni colpi l'acqua penetra finalmente nel corpo di tromba. Da questo momento l'effetto prodotto è modificato. Durante la discesa dello stantuffo, la valvola S si chiude, l'acqua compressa solleva la valvola O e penetra al disopra dello stantuffo, che solleva in seguito, quando risale, fino al serbatoio superiore D. Allora non v'è più aria nel corpo di tromba, e l'acqua spinta dalla pressione atmosferica, sale collo stantuffo, amenochè alla sommità della sua corsa esso non sia più di $10^m,3$ superiore al livello dell'acqua nel serbatoio in cui pesca il tubo d'aspirazione A, poichè si è visto (136) che una colonna d'acqua dell'altezza di $10^m,3$ fa equilibrio alla pressione atmosferica.

Per conoscere l'altezza che si può dare al tubo d'aspirazione A, bisogna osservare che, in pratica, lo stantuffo non si applica mai esattamente sulla base del corpo di tromba, e che quando si trova all'imo della sua corsa, esiste ancora al disotto di esso uno *spazio nocivo* pieno d'aria alla pressione atmosferica. Sia questo spazio nocivo eguale a $\frac{1}{30}$ del volume del corpo di tromba. L'aria che è nello spazio nocivo si dilata di mano in mano che lo stantuffo risale, e quando questo è giunto all'alto della sua corsa, la tensione dell'aria che resta nel corpo di tromba è $\frac{1}{30}$ della pressione atmosferica, giusta la legge di Mariotte. L'aria del tubo d'aspirazione non può adunque essere rarefatta al di là di questo limite, e per conseguenza in questo tubo l'aria non può innalzarsi, nel caso che noi consideriamo, che ad un'altezza eguale a $\frac{29}{30}$ di $10^m,3$, cioè a $9^m,9$. Quest'altezza è ancora troppo grande, poichè l'acqua deve innalzarsi d'una certa quantità al disopra della valvola S. Epperò generalmente l'altezza, che si dà al tubo d'aspirazione, non supera mai gli 8 metri.

Riassumendo, nella tromba aspirante l'acqua è innalzata primieramente nel tubo d'aspirazione per l'effetto della pressione atmosferica, e l'altezza così ottenuta non può oltrepassare gli 8 o i 9 metri. Ma passata l'acqua al disopra dello stantuffo, vien sollevata dalla forza d'ascensione di quest'ultimo, e l'altezza, cui allora può giungere, dipende solamente dalla forza che fa muovere lo stantuffo.

188. **Tromba aspirante e premente.** — La tromba aspirante e premente solleva l'acqua e per aspirazione e per pressione. Essa differisce poco dall'ultima descritta; eccettochè il suo stantuffo è massiccio. Alla base del corpo di tromba, sull'orifizio del tubo d'aspirazione, avvi ancora una valvola S (fig. 132) che si apre dal basso all'alto. Un'altra valvola O, che si apre nello stesso senso, chiude l'apertura di un tubo a gomito, che, partendo da un foro *o* praticato vicino alla valvola S, termina al disotto del piatto *a* in un vaso M, che chiamasi *serbatoio d'aria*. Finalmente da questo serbatoio parte un tubo ascendente D, destinato a sollevar l'acqua ad un'altezza più o meno considerevole.

Ad ogni salita dello stantuffo B, l'acqua sale nel tubo di aspirazione A, e penetra nel corpo di tromba. Quando lo stantuffo discende, la valvola S si chiude, e l'acqua compressa solleva la valvola O per passare nel serbatoio M, e da questo nel tubo d'ascesa D, nel quale l'altezza che può raggiungere, altro limite non ha tranne la forza che mette in movimento la tromba.

Se il tubo D fosse il prolungamento del tubo di comunicazione *Jao*, l'efflusso sarebbe intermittente, avendo luogo solamente quando lo stantuffo discende, ed arrestandosi appenachè sale. Ma tra questi due tubi

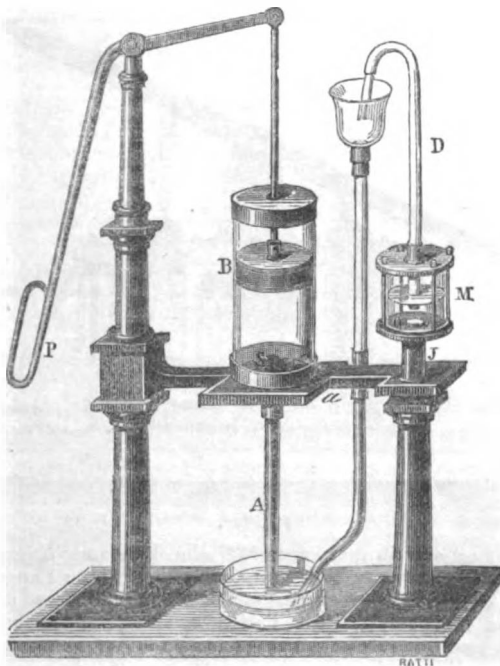



Fig. 132 (a. = 75).

avvi soluzione di continuità; pel che, mediante l'aria rinchiusa nel serbatoio M, si può ottenere un efflusso continuo. Infatti, l'acqua ammassata nel serbatoio M si divide in due parti, delle quali l'una, elevandosi nel tubo D, comprime col suo peso l'acqua, che è nel serbatoio, mentrechè l'altra, in virtù di questa pressione, s'innalza nel serbatoio al disopra dell'orifizio inferiore del tubo D, comprimendo l'aria che è ad essa superiore. Per conseguenza, quando lo stantuffo risale, e più non agisce per ispinger l'acqua, l'aria del serbatoio, per l'eccesso di pressione che ha subíto, reagisce sul liquido e lo innalza nel tubo D, finchè lo stantuffo discende di nuovo. Per tal modo si ottiene un getto senza intermittenza.

189. **Tromba premente.** — La *tromba premente* agisce solamente per pressione, e non approfitta del peso dell'atmosfera. Questa tromba non differisce dalla precedente se non in quanto essa non ha il tubo d'aspirazione, poichè il suo corpo di tromba è immerso nell'acqua stessa, che si vuol innalzare. La continuità del getto si ottiene mercè un serbatoio d'aria simile a quello che abbiamo poc'anzi descritto, oppure mediante un sistema di due trombe accoppiate che agiscono alternativamente; tali sono le trombe per ispegnere gli incendi (fig. 133). Le due trombe, mosse da uno stesso bilanciere PQ al quale sono applicati otto

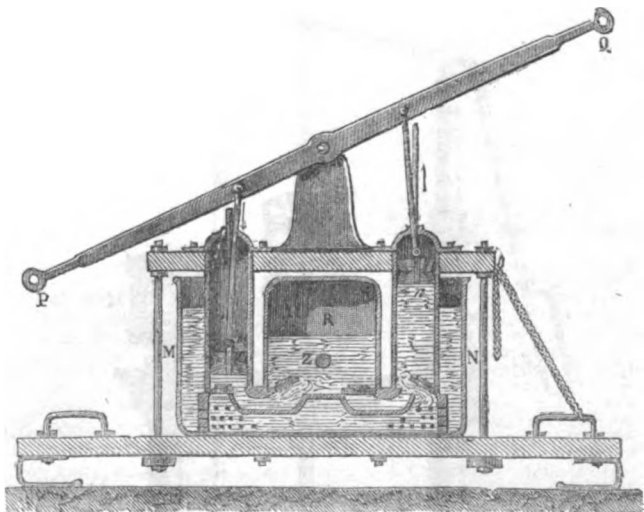



Fig. 133.

uomini, si immergono in una vasca MN che si chiama *tinozza,* e si conserva piena d'acqua per tutto il tempo in cui funziona l'apparato. Dalla disposizione delle valvole si desume che quando una delle trombe aspira l'acqua della tinozza MN, l'altra la spinge in un serbatoio d'aria R, donde passa, traverso una apertura Z, in un lungo tubo di cuoio che si dirige sull'incendio.

190. **Pressione che sopporta lo stantuffo.** — Nella tromba aspirante (fig. 131), quando l'acqua ha riempito il tubo d'aspirazione ed il corpo di tromba fino all'orifizio di efflusso, *lo sforzo necessario per sollevare lo stantuffo eguaglia il peso d'una colonna d'acqua che avrebbe per base quella dello stantuffo e per altezza la distanza verticale dell'orifizio d'efflusso al livello dell'acqua nel serbatoio, daddove la si attinge, vale a dire l'altezza alla quale si innalza l'acqua.* Infatti sia H la pressione atmosferica, h l'altezza dell'acqua nel tubo C al disopra dello stantuffo, ed h' l'altezza della colonna d'acqua che riempie il tubo d'aspirazione A e la parte inferiore del corpo di tromba. La pressione al disopra dello stantuffo è evidentemente $H + h$, e quella al disotto $H - h'$, poichè il peso della colonna h' tende a far equilibrio alla pressione atmosferica. Ora la pressione $H - h'$ tende a sollevare lo stantuffo, dunque la resistenza effettiva è eguale all'eccesso di $H + h$ relativamente ad $H - h'$, cioè ad $h + h'$, come si doveva dimostrare.

Nella tromba aspirante e premente (fig. 132), riesce facile il vedere come la pressione che sopporta lo stantuffo è pure eguale al peso di una colonna d'acqua che avrebbe per base la sezione dello stantuffo, e per altezza quella a cui l'acqua è innalzata.

191. Bottiglia di Mariotte, ed uso della medesima. — La *bottiglia di Mariotte* è un apparato che offre diversi effetti rimarchevoli di pressione atmosferica, e col mezzo della quale si ottiene un efflusso costante. È una bottiglia alquanto grande, il cui collo è chiuso da un turacciolo (fig. 134), trapassato da un tubo di vetro aperto alle due estremità. Sulla superficie laterale della bottiglia vi sono tre tubulature *a*, *b*, *c*, ciascuna delle quali ad orifizio stretto e chiuso da un piccolo turacciolo di legno.

Ammesso che la bottiglia ed il tubo sieno pieni d'acqua, consideriamo ciò che accade quando si apre successivamente una delle tubulature *a*, *b*, *c*, supponendo, come mostra la figura, che l'estremità inferiore del tubo *g* si trovi tra le due tubulature *b* e *c*.

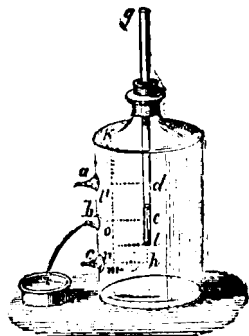
1.° Se si apre dapprincipio la tubulatura *b*, evvi efflusso, il livello si abbassa nel tubo *g*, ed appenachè è giunto in *e* cessa l'efflusso. Questi fenomeni trovano spiegazione nell'eccesso di pressione, che prima aveva luogo in *b* dall'interno all'esterno: eccesso di pressione che dispare quando il liquido nella bottiglia e nel tubo *g* è allo stesso livello. Infatti prima che incominciasse l'efflusso, la pressione su tutti i punti dallo strato orizzontale *be* non era eguale. In *e* essa risultava e dalla pressione atmosferica e dal peso della colonna d'acqua *ge*, mentrecchè in *b* la pressione è soltanto eguale a quella dell'atmosfera. Ma quando il livello in *b* ed in *e* è lo stesso, evvi equilibrio, imperciocchè nella bottiglia e nel tubo allora la pressione è eguale per tutti i punti dello strato orizzontale *be* (80, 3°). Difatti, essendo la pressione, che si esercita in questo caso in *b* ed in *e*, eguale a quella dell'atmosfera, torna facile il dimostrare che qualsivoglia punto *o* dello strato *be* soffra la stessa pressione. Perciò rappresentiamo con H la pressione atmosferica: questa forza, agendo direttamente in *b* ed *e*, si trasmette in tutti i sensi nell'interno della bottiglia, giusta il principio di Pascal (79) e la parete *k* sopporta dal basso all'alto una pressione uguale ad H — *ko*; poichè il peso della colonna d'acqua *ko* distrugge in parte la pressione che tende a trasmettersi in *k*. Ora, pel principio di meccanica che *la reazione è sempre uguale e contraria all'azione*, la pressione H — *ko* vien rimandata dall'alto al basso dalla parete *k* sullo strato *be;* dimodochè la molecola *o* sopporta in realtà due pressioni, l'una eguale al peso della colonna d'acqua *ko*, l'altra alla pressione H — *ko*, proveniente dalla riazione della parete *k*. Adunque la pressione reale, che sopporta la molecola *o* è *ko* + H — *ko*, ossia H, come dovevasi dimostrare.

Fig. 134 (a. = 44).

2.° Se si chiude la tubulatura *b* e si apra la tubulatura *a*, non evvi efflusso; al contrario l'aria rientra nella bottiglia per l'orifizio *a*, e l'acqua risale nel tubo *g* fino allo strato *ad;* allora l'equilibrio è ristabilito. Infatti, si può di leggeri riconoscere mediante un ragionamento simile al precedente, che la pressione è allora eguale per tutti i punti dello strato orizzontale *ad*.

3.° Chiusi gli orifizi *a* e *b*, aprasi l'orifizio *c*. In questo caso avvi efflusso con velocità costante fintantochè il livello dell'acqua nella bottiglia non sia disceso al disotto dell'orifizio *l* del tubo; l'aria rientra allora bolla per bolla per questo orifizio, e si porta alla parte superiore della bottiglia, dove prende il posto dell'acqua che affluisce.

Per dimostrare che l'efflusso dall'orifizio *c* è costante, bisogna far vedere che la pressione che si esercita sullo strato orizzontale *ch* è invariabilmente uguale alla pressione atmosferica aumentata di quella della colonna d'acqua *hl*. Supponiamo infatti che nella bottiglia il livello dell'acqua si sia abbassato fino allo strato *ad*. L'aria che è penetrata nella bottiglia sopporta allora una pressione uguale ad H — *pn*. In virtù della sua elasticità l'aria rinvia questa pressione allo strato *ch*. Ora questo sopporta anche il peso della colonna d'acqua *pm*. Dunque la pressione trasmessa in *m* è in realtà *pm* + H — *pn*, ossia H + *mn*, cioè H + *hl*. Si dimostrerebbe del pari che questa pressione è ancora la stessa quando il livello si è abbassato in *be*, e così di seguito finchè il livello è superiore all'orifizio *l*. Dunque la pressione sullo strato *ch* è costante, e per conseguenza la velocità di efflusso. Ma quando il livello è disceso al disotto del punto *l*, questa pressione decresce e per conseguenza la velocità di efflusso.

Per quanto abbiamo detto la bottiglia di Mariotte offre il mezzo di ottenere un efflusso costante; a tale intento la si riempie d'acqua e si tiene aperto la tubulatura collocata al disotto dell'orifizio *l* del tubo. La velocità d'efflusso è allora proporzionale alla radice quadrata dell'altezza *lh*.

LIBRO V.

ACUSTICA

CAPITOLO PRIMO

PRODUZIONE, PROPAGAZIONE E RIFLESSIONE DEL SUONO

192. **Oggetto dell'acustica.** — L'*acustica* ha per oggetto lo studio del suono e quello delle vibrazioni dei corpi elastici.

La musica considera i suoni relativamente ai sentimenti ed alle passioni che ponno destare in noi; l'acustica invece non tratta che delle proprietà dei suoni, astrazione fatta dalle sensazioni che noi ne proviamo.

193. **Suono e rumore.** — Il *suono* è una sensazione particolare eccitata nell'organo dell'udito dal movimento vibratorio dei corpi, allorchè questo movimento può essere trasmesso all'orecchio mercè l'aiuto d'un mezzo elastico.

Tutti i suoni non sono identici: essi presentano delle differenze assai sensibili perchè si possono distinguere tra loro, paragonarli e determinare i loro rapporti.

Distinguesi in generale il suono dal *rumore*. Il suono propriamente detto, o *suono musicale*, è quello che produce una sensazione continua, e di cui si può apprezzare il valore musicale; laddove il rumore è un suono d'una durata troppo breve per essere ben apprezzato, come il rumore del cannone; ovvero è una miscela confusa di suoni discordanti, come il rombo del tuono, il rumore dell'onde. Ciononpertanto la differenza tra il suono e il rumore non è ben marcato; vi sono orecchi così bene organizzati che sanno determinare il valore musicale del rumore prodotto da una carrozza che ruota sul lastrico.

194. **Causa del suono.** — Il suono è sempre il risultato d'oscillazioni rapide impresse alle molecole dei corpi elastici, quando per l'influenza d'un urto o dello sfregamento venne turbato l'equilibrio di queste molecole. Esse tendono allora a riprendere la primitiva loro posizione, ma non vi ritornano che coll'eseguire al di qua e al di là di questa posizione dei movimenti vibratorii o di va-e-vieni rapidissimi, la cui ampiezza presto decresce.

Chiamasi *corpo sonoro* quello che produce un suono, e si appella *oscillazione* o *vibrazione semplice* il movimento che comprende sola-

mente un'*andata* od un *ritorno* delle molecole vibranti; una *vibrazione doppia* o *completa* comprende l'*andata* ed il *ritorno*. Le vibrazioni si ponno facilmente constatare colle esperienze seguenti. Gettando della polvere leggera su di un corpo che produce un suono, vediamo questa polvere prendere un movimento rapido, rendendo così visibili le vibrazioni del corpo; parimenti pizzicando una corda tesa, le vibrazioni di questa sono apparenti all'occhio. Od anche si prende una campana di vetro che si tiene orizzontalmente con una mano per il bottone (fig. 135), e coll'altra si dà sulla campana un colpo secco col dito per farla vibrare. Ora, se le si pone dentro un frammento di metallo o di altro corpo duro, il piccolo corpo è sollevato rapidamente dalle vibrazioni successive delle pareti, sulle quali esso fa udire dei ripetuti urti; ma se si appoggia la mano sulla campana, ciò che arresta le vibrazioni, gli urti cessano all'istante.

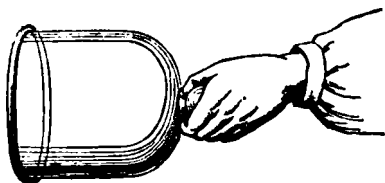



Fig. 135.

195. **Il suono non si propaga nel vuoto.** — Le vibrazioni dei corpi elastici non produrrebbero in noi la sensazione del suono quando mancasse un mezzo ponderabile interposto tra l'orecchio ed il corpo sonoro, e che vibra con esso. Questo mezzo è ordinariamente l'aria; ma i gas, i vapori, i liquidi, i solidi trasmettono essi pure il suono.

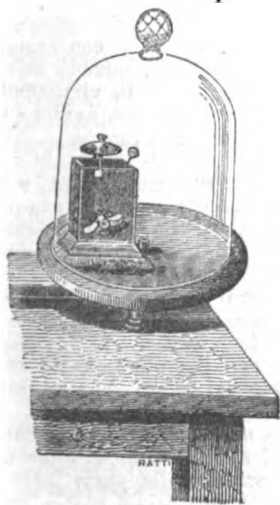



Fig. 136.

Per dimostrare che la presenza di un mezzo ponderabile è necessario alla propagazione del suono, si fa l'esperienza seguente: sotto la campana di una macchina pneumatica si colloca una soneria d'oriuolo (fig. 136) in azione. Finchè la campana è piena d'aria alla pressione ordinaria, si sente distintamente il suono; ma di mano in mano che l'aria vien rarefatta, il suono perde d'intensità, e cessa d'essere percettibile quando il vuoto è fatto. Dunque il suono non si propaga nel vuoto.

Acciocchè l'esperienza riesca bene, bisogna disporre la soneria su un po' di bambagia; poichè i pezzi metallici costituenti questa soneria ponno trasmettere le loro vibrazioni al piatto della macchina pneumatica, e questo all'aria.

Si può fare la stessa esperienza in un modo molto più semplice, mediante cioè un pallone di vetro munito d'un robinetto e contenente un campanello sospeso ad un filo. Agitando il pallone quand'è pieno d'aria s'ode distintamente il campanello; ma, rarefatta l'aria che vi è rinchiusa, mediante la macchina pneumatica, non si sente più nulla.

196. **Il suono si propaga in tutti i corpi elastici.** — Se nelle due esperienze precedenti, dopo aver fatto il vuoto si lascia rientrare nel recipiente o nel pallone un gas qualunque od un vapore, s'ode benissimo il suono e nell'uno e nell'altro caso; locchè dimostra che il suono si propaga nei gas e nei vapori, come nell'aria.

Il suono si propaga pure nei liquidi. Infatti quando due corpi si urtano sott'acqua, se ne sente l'urto in modo distinto. Un individuo che si trova in fondo all'acqua può intendere ciò che si dice sulle rive.

Relativamente ai solidi è tale la loro conducibilità che un rumore sommamente leggero, come lo strofinamento d'una piuma, prodotto all'estremità di un pezzo di legno, si sente all'altra estremità. Il suolo conduce così bene il suono, che di notte, applicando l'orecchio alla terra, si ponno sentire a grandi distanze i passi di un cavallo, o qualsivoglia altro rumore.

197. **Modo di propagazione del suono nell'aria.** — Per semplificare la teoria della propagazione del suono, consideriamo dapprima il caso in cui si propagasse in un tubo cilindrico indefinito. Rappresenti adunque MN (fig. 137) un tubo pieno d'aria a una pressione e ad una tempera-

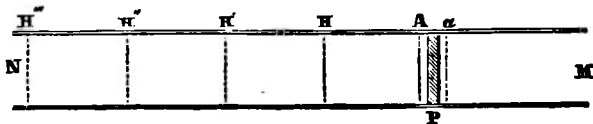



Fig. 137.

tura costanti, e P uno stantuffo che oscilla in questo tubo con somma velocità da *a* in A e reciprocamente Questo stantuffo, quando passa da *a* in A, comprime l'aria che il tubo contiene. Ora, in virtù della grande compressibilità di questo fluido, la condensazione non avviene in tutta la lunghezza del tubo, ma solamente per una certa lunghezza AH, che chiamasi l'*onda condensata.*

Tutte le parti di quest'onda non sono egualmente condensate, e la loro velocità non è la stessa; imperciocchè lo stantuffo, nel suo movimento alternativo, è animato da velocità variabili. La velocità, dapprima nulla in *a*, cresce progressivamente sino alla metà dell'onda, poi decresce fino in A, dov'essa ritorna nulla. Laonde risultano, nell'onda AH, delle densità e delle velocità dell'aria variabili colla velocità dello stantuffo. In A, dove esso è allo stato di quiete, la velocità dell'aria è nulla, e questo fluido ha ripreso la sua densità primitiva. In H, dove termina l'onda, la velocità e la densità sono eguali a quelle in A; ma, nei punti intermedi, queste quantità crescono dal punto A sino alla sezione media dell'onda, per poi decrescere fino in H.

Imaginando il tubo MN diviso in lunghezze uguali ad AH, e ciascuna di queste lunghezze divisa in istrati paralleli allo stantuffo, si dimostra col calcolo che al momento in cui il primo strato della parte AH si mette in quiete, il primo strato della parte HH' comincia a partecipare al movimento; poscia, quando il secondo strato dell'onda AH passa allo stato di quiete, il movimento si comunica al secondo strato di HH, e così di seguito di strato in istrato nelle parti H'H'', H''H'''.... L'onda condensata adunque si avanza nel tubo, passando ciascuna delle sue parti successivamente per gli stessi gradi di velocità e di condensazione.

Lo stantuffo ritornando poscia su sè medesimo nella direzione Aa, produce dietro sè un vuoto nel quale si dilata lo strato d'aria in contatto colla sua faccia posteriore. Quindi, dilatandosi lo strato seguente, viene il primo ricondotto al suo stato primitivo di condensazione, e così di seguito di strato in istrato; dimodochè, quando lo stantuffo è ritornato in a, si è prodotta un'*onda dilatata* d'egual lunghezza dell'onda condensata, cui sussegue immediatamente nel tubo cilindrico, ove esse si propagano insieme, giacchè gli strati corrispondenti delle due onde posseggono velocità eguali e contrarie.

L'insieme dell'onda condensata e dell'onda rarefatta forma un'*ondulazione sonora;* cioè un'ondulazione sonora comprende la parte della colonna d'aria modificata durante un'andata ed un ritorno di stantuffo; la *lunghezza d'ondulazione sonora* è la spessezza dell'onda condensata e dell'onda dilatata riunite, cioè lo spazio che il suono percorre durante il tempo che dura una vibrazione completa del corpo che lo produce. Questa lunghezza è tanto minore quanto più rapide sono le vibrazioni.

Si passa facilmente dalla teoria del movimento delle onde sonore in un cilindro a quella del loro movimento in un mezzo indefinito in tutti i sensi; basta per ciò applicare, in tutte le direzioni, ad ogni molecola dei corpi vibranti quanto si disse d'uno stantuffo mobile in un tubo. Infatti, intorno ad ogni centro di scuotimento si produce una serie d'onde sferiche alternativamente condensate e rarefatte. Essendo quest'onde comprese tra due superficie sferiche concentriche, i cui raggi crescono gradatamente, mentrecchè la lunghezza d'ondulazione rimane costante, la loro massa aumenta di mano in mano ch'esse si scostano dal centro di scuotimento; d'onde risulta che la velocità di vibrazione impressa alle molecole s'indebolisce gradatamente e che l'intensità del suono diminuisce.

Queste onde sferiche alternativamente condensate e dilatate, propagandosi nello spazio, vi trasmettono il suono. Se parecchi punti sono scossi nello stesso tempo, producesi intorno a ciascuno un sistema d'onde simile al precedente. Ora, tutte queste onde si trasmettono le une attraverso le altre, senza modificare nè la loro lunghezza nè la loro velocità. Le onde condensate o dilatate ora si sovrappongono ad onde di egual natura, in modo da produrre un effetto eguale alla loro somma; ora si incontrano e producono un effetto eguale alla loro differenza. Basta scuotere in vari punti la superficie di un'acqua tranquilla per rendere sensibile all'occhio la *coesistenza delle onde*.

198. **Cause che fanno variare l'intensità del suono.** — Parecchie cause modificano la forza o l'*intensità* del suono, cioè: la distanza del corpo sonoro, l'ampiezza delle vibrazioni, la densità dell'aria nel luogo in cui si produce il suono, la direzione delle correnti d'aria, e finalmente la vicinanza d'altri corpi sonori.

1.° *L'intensità del suono è in ragione inversa del quadrato della distanza del corpo sonoro all'organo uditivo*. Questa legge alla quale si è condotti dalla teoria, può essere dimostrata anche esperimentalmente. Infatti, si immaginino parecchi suoni esattamente di eguale intensità, per es., companelli identici percossi da martelli ugualmente pesanti cadenti da altezze uguali. Se si collocano quattro di questi campanelli alla distanza di 20 metri dall'orecchio ed un solo alla distanza di 10 metri, si osserva che quest'ultimo percosso da solo, manda un suono di intensità uguale ai quattro primi percossi simultaneamente; d'onde si deduce che per una distanza doppia, l'intensità è quattro volte minore.

2.° *L'intensità del suono aumenta coll'ampiezza delle vibrazioni del corpo sonoro.* Il legame che sussiste fra l'intensità del suono e l'ampiezza delle vibrazioni si constata facilmente mediante corde vibranti; infatti, se le corde sono alquanto lunghe, le oscillazioni sono visibili, e si verifica che, decrescendo l'ampiezza delle oscillazioni, il suono s'indebolisce.

3.° *L'intensità del suono dipende dalla densità dell'aria nel luogo in cui viene prodotto.* Se noi collochiamo sotto il recipiente della macchina pneumatica una soneria mossa da un movimento d'orologio, sentiamo che l'intensità del suono diminuisce di mano in mano che l'aria viene rarefatta.

Nell'idrogeno, che è circa 14 volte meno denso dell'aria, i suoni hanno un'intensità molto più debole, sebbene la pressione sia la stessa. Nell'acido carbonico, al contrario, la cui densità relativamente all'aria è 1,529, i suoni riescono più intensi. Sulle alte montagne, ove l'aria è assai rarefatta, bisogna parlar forte per farsi intendere, e l'esplosione d'un'arma da fuoco vi produce un debol suono.

4.° *L'intensità del suono è modificata dall'agitazione dell'aria e dalla direzione dei venti.* Si constata che con un tempo calmo, il suono si propaga meglio di quando fa vento, e che in questo caso il suono è più intenso, a distanza eguale, nella direzione del vento che nella direzione contraria.

5.° Finalmente, *il suono è rinforzato dalla vicinanza di un corpo sonoro.* Una corda di stromento, tesa all'aria libera, non produce che un debole suono, facendola vibrare lungi da qualsivoglia corpo sonoro; se noi la tendiamo invece sopra una cassa sonora, come nella chitarra, nel violino o nel contrabbasso, essa produce un suono pieno ed intenso: locchè è dovuto a ciò che la cassa e l'aria ch'essa contiene vibrano all'unisono colla corda. Da ciò l'uso delle casse sonore per gli istrumenti a corda.

Fig. 138.

199. **Apparato per rinforzare il suono.** — Per dimostrare l'influenza delle casse piene d'aria sul rinforzo del suono, Savart costrusse l'ap-

parato rappresentato dalla figura 138. Esso è un vaso emisferico A, di bronzo, che si fa vibrare mediante un robusto archetto; vicino evvi un cilindro cavo B, di cartone, aperto all'estremità anteriore e chiuso all'altra. Mercè un'impugnatura si fa girare, come più piace, questo cilindro sul suo sostegno, che è fissato ad un pezzo C, liberamente scorrevole entro il piede dell'apparato; dimodochè si può allontanare quando si vuole il cilindro B dal vaso A. Fatto vibrar l'apparato, quand'è disposto come mostra la figura, i suoni che produce pigliano una forza ed una pienezza, di cui non si può formarsi un'idea senza sentirli. Ma il suono perde quasi tutta la sua intensità girando il cilindro, e s'indebolisce gradatamente quando lo si allontana. Resta con ciò dimostrato che il rinforzo del suono è dovuto alle vibrazioni dell'aria contenuta nel cilindro. In questo apparato il cilindro B deve avere una determinata profondità, perchè l'aria ch'esso contiene, vibri all'unisono col vaso di bronzo, altrimenti questo vibrerebbe solo.

Narra Vitruvio che appo gli antichi collocavansi sui teatri dei vasi risonanti di bronzo per rinforzare la voce degli attori.

200. **Influenza dei tubi sull'intensità del suono.** — La legge sopra enunciata, che l'intensità del suono è in ragione inversa del quadrato della distanza, non può essere applicata ai suoni trasmessi mediante tubi, specialmente se questi sono cilindrici e dritti. Le onde sonore allora non si propagano più sotto la forma di sfere concentriche crescenti, ed il suono può essere portato ad una distanza considerevole senza alterazione molto sensibile. Biot constatò che in un tubo di condotto delle acque di Parigi, lungo 951 metri, la voce perde così poco d'intensità, che da un'estremità all'altra di questo tubo si può conversare a voce sommessa. Ciononpertanto l'indebolimento del suono divien sensibile nei tubi di un grande diametro, o le cui pareti presentano delle tortuosità. Tanto si osserva nei sotterranei e nelle lunghe gallerie.

Questa proprietà, che hanno i tubi di portar lontano i suoni, è stata utilizzata dapprima in Inghilterra, servendosi di *speaking tubes* (tubi parlanti) per trasmettere gli ordini negli alberghi e nei grandi stabilimenti. Essi consistono in tubi di gomma elastica, di piccol diametro, che attraversando le muraglie vanno da una stanza all'altra. Se si parla alzando un po' la voce ad un'estremità, si è distintissimamente sentiti all'altra.

Dietro le esperienze già citate di Biot, egli è cosa evidente che per tal modo si potrebbe, mediante tubi acustici, corrispondere a viva voce da una città all'altra. Siccome il suono percorre, termine medio, 337 metri per secondo, una distanza di 80 chilometri sarebbe percorsa in 4 minuti.

201. **Velocità del suono nei gas.** — Attesochè la propagazione delle onde sonore è successiva, il suono non deve trasmettersi da un luogo all'altro se non in un intervallo di tempo più o meno lungo. È ciò che dimostrano molti fenomeni. Per es., il rumore del fulmine s'ode soltanto un certo tempo dopo il balenar del lampo, quantunque il rumore e il lampo si producono simultaneamente nella nube.

Numerosi tentativi si fecero per determinare la velocità del suono nell'aria, vale a dire lo spazio che percorre in un minuto secondo. L'ultimo fu fatto nella state del 1822, durante la notte, dai membri dell'Ufficio delle longitudini. Due alture, situate l'una a Villejuif, l'altra a Montlhéry presso Parigi, furono le stazioni che si scelsero. Ad ognuna

di esse si tirava, di 10 in 10 minuti, un colpo di cannone. Gli osservatori di Villejuif intesero assai distintamente i 12 colpi tirati a Montlhéry; ma quelli di questa stazione, dei 12 tirati a Villejuif non ne intesero che 7, e ciò perchè era contraria la direzione del vento.

Ad ogni stazione, gli osservatori notavano, mediante cronometri, il tempo che scorreva tra l'apparizione della luce al momento dell'esplosione e la percezione del suono. Questo tempo poteva esser preso per quello che il suono impiegava a propagarsi da una stazione all'altra, perchè l'intervallo fra le due stazioni, non era che di 18 612^m,52, e vedremo in ottica che la luce percorre questa distanza in un tempo sì breve che non si può valutare. In tal modo si riconobbe che la durata media della propagazione del suono da una stazione all'altra era 54″6.

Dividendo per questo numero la distanza delle due stazioni, si trova che la velocità del suono, in un minuto secondo, alla temperatura di 16 gradi, che era quella dell'atmosfera durante l'esperimento, è di 340^m,89.

La velocità del suono nell'aria diminuisce colla temperatura: a 10 gradi essa non è che 337 metri; a zero è 333 metri. Ma a parità di temperatura è indipendente dalla densità dell'aria, e per conseguenza dalla pressione. A pari temperatura la velocità è eguale per tutti i suoni intensi o deboli, gravi od acuti. Infatti, Biot, nelle esperienze sopra citate sulla conducibilità dei tubi, constatò, che quando si suonava il flauto all'estremità di un tubo di ghisa della lunghezza di 951 metri, i suoni conservavano il loro ritmo all'altra estremità; lo che dimostra che i diversi suoni si propagano con velocità uguali. Per ciò non deve essere ammesso in un modo generale pei suoni che hanno origine diversa, come il tonar del cannone, per esempio, e il suono di uno strumento o della voce umana. È per lo meno quanto tende a provare l'osservazione seguente, fatta dal capitano Parry durante la sua spedizione nei mari del nord. Avendo un giorno fatto fare esercizio d'artiglieria, e gli artiglieri non facendo fuoco che al comando dell'ufficiale, diverse persone che si trovavano ad una grande distanza dai pezzi, intesero il colpo del cannone prima del comando di far fuoco; ciò che indicherebbe che i suoni prodotti con violenza si propagano più velocemente.

La velocità del suono varia da un gas all'altro anche a temperatura uguale. Col mezzo delle formole dei tubi sonori (238), Dulong trovò che alla temperatura zero la velocità del suono nei gas sotto indicati è:

Acido carbonico	261^m
Ossigeno	317
Aria	333
Ossido di carbonio	337
Idrogeno	1269

202. Formole per calcolare la velocità del suono nel gas. — Newton, pel primo, per calcolare la velocità del suono nel gas, alla temperatura zero, diede la formola

$$v = \sqrt{\frac{e}{d}},$$

nella quale v rappresenta la velocità del suono, cioè lo spazio che esso percorre in un secondo, e l'elasticità del gas a zero, e d la sua densità pure a zero.

Da questa formola si conchiude che la velocità di propagazione del suono in un gas *è direttamente proporzionale alla radice quadrata dell'elasticità del gas ed inversamente proporzionale alla radice quadrata della sua densità.* Si scorge in pari tempo che que-

sia velocità rimane costante qualunque sia la pressione, perchè secondo la legge di Mariotte, aumentando l'elasticità, aumenta anche la densità nello stesso rapporto.

Rappresentando con g l'intensità della gravità, con h l'altezza del barometro ridotto a zero, con δ la densità del mercurio pure a zero, è evidente che siccome per un gas soggetto alla pressione atmosferica l'elasticità e cresce come ciascuna di queste quantità, si può porre $e = gh\delta$. Adunque la formola di Newton per la temperatura zero diventa

$$v = \sqrt{\frac{gh\delta}{d}}.$$

Ora quando la temperatura di un gas aumenta da 0 a t gradi, il suo volume aumenta e la sua densità varia in ragione inversa del volume; quindi se si rappresenta con 1 il volume del gas a zero, e con α l'aumento che prende l'unità di volume riscaldandosi di 1 grado, il volume a t gradi sarà $1 + \alpha t$ (Calorico, cap. iv). Perciò la densità che è d a zero, a t gradi sarà $\frac{d}{1 + \alpha t}$. Adunque la formola di Newton per una temperatura t diventa:

$$v' = \sqrt{\frac{gh\delta}{d}(1 + \alpha t)}, \text{ o } v' = \sqrt{\frac{gh\delta}{d}}. \sqrt{1 + \alpha t} = v \sqrt{1 + \alpha t};$$

v' essendo la velocità a t gradi, e v la velocità a zero.

I valori di v ottenuti da questa formola furono sempre più piccoli di quelli forniti dall'esperienza. Laplace ritenne che causa di questa differenza fosse il calorico che si sviluppa per l'effetto della pressione nelle onde condensate. Basandosi sulle idee di Laplace, Poisson e Biot trovarono che la formola di Newton deve essere ridotta alla forma

$$v = \sqrt{\frac{gh\delta}{d}(1 + \alpha t)\frac{c}{c'}};$$

c rappresentando il calorico specifico, a pressione costante, del gas nel quale il suono si propaga (Calorico, cap. vii), e c' il suo calorico specifico a volume costante. Così modificata, questa formola fornisce i valori di v corrispondenti a quelli che si ottengono per mezzo dell'esperienza.

203. **Velocità del suono nei solidi e nei liquidi.** — La velocità del suono, nei liquidi, è molto maggiore che nell'aria. Colladon e Sturm hanno trovato, col mezzo di esperienze fatte nel 1827 sul lago di Ginevra, che la velocità del suono, nell'acqua, è di 1435 metri, alla temperatura di 8°, 1; vale a dire più del quadruplo di quella del suono nell'aria.

Nei solidi la velocità del suono è ancor maggiore. Esperimentando sui tubi di ghisa, degli acquedotti, Biot ha trovato direttamente che, nella ghisa, il suono si propaga 10,5 volte più velocemente che nell'aria. La velocità del suono negli altri solidi venne determinata teoricamente da Chladni, Savart, Masson e Wertheim, desumendola dal numero delle vibrazioni longitudinali o trasversali dei corpi, o dal loro coefficente d'elasticità. Chladni ha trovato, col mezzo delle vibrazioni longitudinali, che nei legni la velocità del suono è da 10 a 16 volte maggiore che nell'aria. Nei metalli questa velocità è più variabile, ed è da 4 a 16 volte quella che si verifica nell'aria.

204. **Riflessione del suono.** — Fintanto che le onde sonore non vengano impedite nel loro sviluppo, si propagano sotto la forma di sfere concentriche; ma, allorquando incontrano un ostacolo, seguono la legge generale dei corpi elastici, ritornano cioè sopra sè stesse, formando delle nuove onde concentriche, che sembrano emanare da un secondo centro situato al di là dell'ostacolo; lo che si esprime dicendo che le onde sono *riflesse*.

La figura 139 rappresenta una serie di onde incidenti, riflesse sopra un ostacolo PQ. Se si considera, per es., l'onda incidente MCDN, emmessa dal centro A, l'onda riflessa corrispondente è rappresentata dall'arco CKD, di cui il punto *a* è il *centro virtuale.*

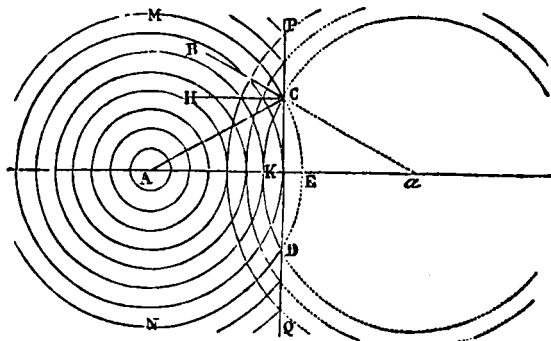



Fig. 139.

La linea retta AC, secondo la quale si propaga il suono dal punto A al punto C, è un *raggio sonoro;* e se si conduce dal punto C una perpendicolare CH alla superficie riflettente, l'angolo ACH che fa il raggio sonoro con questa perpendicolare si chiama *angolo d'incidenza;* finalmente l'angolo BCH, che forma il raggio sonoro riflesso BC colla medesima perpendicolare, si chiama *angolo di riflessione.*

Ciò posto, la riflessione del suono è soggetta alle due leggi seguenti, che valgono anche pel calore e per la luce:

1.° *L'angolo di riflessione è eguale all'angolo d'incidenza.*

2.° *Il raggio sonoro incidente e il raggio riflesso sono situati in un medesimo piano perpendicolare alla superficie riflettente.*

Dietro queste leggi, l'onda che, nella figura, si propaga secondo AC, prende, dopo la riflessione, la direzione CB; di modo che un osservatore situato in B intende, oltre il suono partito dal punto A, un secondo suono che sembra emesso nella direzione CB.

205. **Eco e risuonanza.** — Dicesi *eco* la ripetizione d'un suono nell'aria, avvenuta per la riflessione del medesimo contro qualche ostacolo.

Per un suono di brevissima durata, come un urto, può esserci *eco* quando la superficie riflettente è distante di soli 17 metri. È il limite che si ammette ordinariamente per tutti i suoni; ma pei suoni articolati, abbisogna almeno una distanza doppia, cioè di 34 metri. Infatti, è facile di constatare che non si può pronunciare od intendere ben distintamente più di cinque sillabe per secondo. Ora la velocità del suono essendo di 340 metri per secondo, ne segue che, in un quinto di secondo, il suono percorre 68 metri. Per conseguenza se l'ostacolo riflettente è ad una distanza di 34 metri, il suono onde propagarsi fino all'ostacolo e ritornare, dovrà percorrere 68 metri. Il tempo trascorso tra il suono articolato e il suono riflesso sarà dunque di un quinto di secondo; quando le cose siano così, i due suoni non si confonderanno, e il suono riflesso sarà inteso distintamente. Dietro quanto si è detto se

si parla a voce alta davanti ad un riflettore distante di 34 metri, non si può distinguere che l'ultima sillaba riflessa; l'eco è dunque *monosillaba.* Se il riflettore è distante due volte, tre volte 34 metri, l'eco sarà *disillaba, trisillaba* e così di seguito.

Allorchè la distanza della superficie riflettente è minore di 34 metri, il suono diretto ed il riflesso tendono a confondersi. Non è dunque possibile udirli separatamente; ma il suono trovasi rafforzato, lo che si esprime dicendo che vi è *risonanza.* Ciò appunto si osserva nei grandi appartamenti. Le sale a pareti nude sono assai risuonanti; gli arazzi invece e le drapperie, che mal riflettono il suono, rendono gli appartamenti *sordi.*

Dicesi *eco multipla* quella che ripete più volte il medesimo suono: ciò accade quando due ostacoli collocati l'uno di fronte all'altro, come sarebbero due muri paralleli, si rimandano successivamente il suono. Evvi qualche eco che ripete fino a 20 o 30 volte il medesimo suono. Merita speciale menzione quella della Simonetta vicino a Milano.

Siccome le leggi della riflessione della luce e del calore si verificano anche per la riflessione del suono, le superficie curve danno origine a *fuochi acustici* analoghi ai fuochi luminosi e calorifici, che si producono davanti ai riflettori concavi (379). Se, per es., si parla sotto l'arco di un ponte di pietra, avendo la faccia rivolta ad una delle pile, la voce può riprodursi presso l'altra pila con abbastanza di intensità per sostenere una conversazione a bassa voce, senza che essa venga intesa da persone che trovinsi nello spazio intermedio.

Esiste al piano terreno del Conservatorio delle arti e mestieri in Parigi, una sala quadrata a vôlta ellittica che presenta in modo rimarchevole questo fenomeno, collocandosi ai due fuochi della ellissi.

Devesi del resto rimarcare che il suono non vien riflesso solamente dalla superficie dei corpi solidi, come sarebbero i muri d'un edificio, i legni, le roccie; esso vien riflesso altresì dalle nubi, allorchè incontra uno strato d'aria in densità diverso da quello che ha attraversato; infine vien riflesso anche dalle vescichette delle nebbie. Si osserva infatti che, quando evvi nebbia, i suoni subiscono numerose riflessioni parziali, e rapidamente s'affievoliscono. Di notte, essendo l'aria pura, calma e d'uniforme densità, i suoni si estendono più lontani.

206. **Rifrazione del suono.** — Vedremo in seguito che (464) per *rifrazione* si intende un cangiamento di direzione che soffrono la luce ed il calorico passando da un mezzo in un altro. Ora, Sondhauss, in Germania, constatò recentemente che le onde sonore si rifrangono come il calore e la luce.

A questo scopo egli ha costruite delle lenti gasose, riempiendo d'acido carbonico degli inviluppi membranosi di forma sferica o lenticolare. Mediante inviluppi di carta o di finissima cartapecora, la rifrazione del suono non è sensibile; ma l'esperienza riuscì assai bene con un inviluppo di *collodio.*

Sondhauss taglia, sopra un ampio pallone di collodio, due segmenti uguali, e li adatta alle due facce d'un anello di latta, avente un diametro di centimetri 31, in modo da formare una lente biconvessa, cava, la di cui spessezza al centro è all'incirca di 12 centimetri. Quindi, riempiendo d'acido carbonico la lente così formata, ei colloca un orologio ordinario sulla direzione dell'asse, e cerca in seguito, dall'altro lato della lente, il punto in cui il suono vien inteso con maggior intensità.

Si osserva così che fino a che l'orecchio è lontano dall'asse, il suono riesce appena percettibile, ma che esso riesce assai distinto quando l'orecchio trovasi sull'asse ad una opportuna distanza dalla lente; dunque le onde sonore, sortendo dalla lente, concorrono verso l'asse, il che mostra aver esse cambiata direzione ed esser quindi rifratte.

207. **Porta-voce, corno acustico.** — Il *porta-voce* ed il *corno-acustico* sono due strumenti fondati e sulla riflessione del suono e sulla conducibilità dei tubi cilindrici (200).

Il porta-voce, come lo indica il suo nome, è destinato a trasmettere la voce a grandi distanze. Consiste in un tubo di latta o di ottone (fig. 140), leggermente conico ed assai svasato ad una delle sue aperture detta *padiglione*. Questo strumento, di cui l'altra estremità s'applica alla

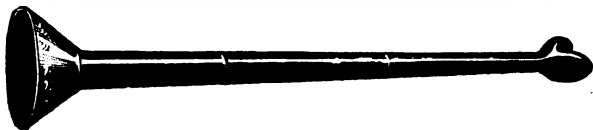



Fig. 140.

bocca, porta la voce tanto più lungi quanto maggiori sono le due dimensioni. Si spiega, in genere, l'effetto del porta-voce colle riflessioni successive delle onde sonore sulle pareti del tubo; riflessioni per le quali le onde tendono a propagarsi di più in più secondo una direzione parallela all'asse dello strumento. Si è obbiettato a questa teoria che i suoni emessi attraverso al porta-voce non sono rinforzati soltanto nella direzione del suo asse, ma in tutte le direzioni; ed anche che il padiglione sarebbe inutile per ottenere il parallelismo dei raggi sonori, mentre al contrario esercita una influenza considerevole sull'intensità dei suoni trasmessi. Alcuni fisici attribuiscono gli effetti del porta-voce ad un rinforzamento prodotto dalla colonna di aria che si trova nel tubo, la quale vibra all'unissono, quando si parla alla sua estremità. Quanto all'effetto del padiglione, non ne venne data finora spiegazione sufficiente.

Il corno-acustico serve alle persone che hanno *udito grosso*. Esso consta di un tubo conico di metallo, di cui una delle estremità, terminata a padiglione, è destinata a ricevere il suono, intanto che l'altra è introdotta nell'orecchio. Il padiglione serve a ricevere i suoni provenienti dalla bocca della persona che parla. Questi suoni si trasmettono per un seguito di riflessioni nell'interno del corno, di modo che quelle onde che avrebbero preso un grande sviluppo, si trovano concentrate nell'apparecchio auditivo, e vi producono un effetto assai più sensibile di quello che avrebbero fatto le onde divergenti.

CAPITOLO II.

MISURA DEL NUMERO DELLE VIBRAZIONI

208. **Sirena.** — Vennero immaginati diversi apparati per misurare il numero delle vibrazioni corrispondenti ad un dato suono, cioè: la *sirena*, la *ruota dentata di Savart*, il *cilindro girante di Duhamel*, il

fonautografo di Scott. Noi descriveremo qui i tre primi; più avanti diremo del fonautografo (248).

La *sirena* è un piccolo apparato che serve a misurare il numero delle vibrazioni di un corpo sonoro in un dato tempo. Cagniard-Latour, che ne è l'inventore, ha dato il nome di sirena a questo strumento, perchè si può fargli rendere dei suoni sotto l'acqua.

La sirena è tutta in ottone. La figura 141 la rappresenta montata sulla cassa di un mantice, che è descritto più avanti (fig. 144), e la di cui funzione è di mandare una corrente d'aria continua nella sirena. Le figure 142 e 143 rappresentano i particolari interni di quest'ultima. La parte inferiore consiste in una cassa cilindrica O, ricoperta da un disco fisso B. Su questo disco si appoggia un'asta verticale T, alla quale

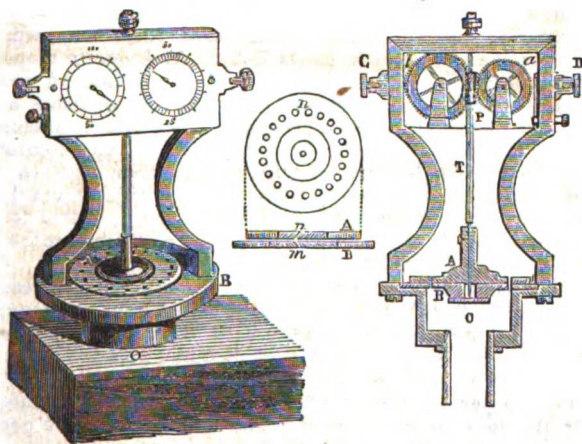



Fig. 141 (a. = 17). Fig. 143. Fig. 142.

è fissato un disco A, che può girare liberamente coll'asta; dei fori circolari equidistanti sono praticati nel disco B, e nel disco A si trova un numero eguale di fori di egual grandezza ed alla stessa distanza dal centro di quelli del disco B. Questi fori non sono però perpendicolari ai piani dei due dischi; ma, inclinati tutti egualmente nel disco superiore in un senso, nell'inferiore in un senso contrario. Perciò quando i fori del disco inferiore e del disco superiore si corrispondono, essi sono disposti come li rappresenta la figura 143, che dà una sezione dei due dischi A e B secondo due fori anteriori, quando essi si corrispondono. Risulta da questa disposizione che allorquando una corrente di aria rapida giunge dal mantice nella cassa cilindrica e nel foro *m*, essa colpisce obbliquamente le pareti del foro *n*, e imprime al disco A un movimento di rotazione nel senso A*n*.

Per semplificare la spiegazione del modo con cui agisce la sirena, supponiamo dapprima che il disco mobile A avendo 18 fori, il disco fisso B non ne abbia che uno solo, e consideriamo il caso in cui quest'ultimo coincida con uno dei fori superiori. La corrente d'aria dal man-

tice venendo a colpire obbliquamente la parete di quest'ultimo, il disco mobile è posto in movimento rotatorio, e la parte massiccia che si trova fra due fori consecutivi viene a chiudere il foro del disco inferiore. Ma il disco continuando a girare, in virtù della velocità acquistata, due fori si trovano di nuovo in corrispondenza, da cui risulta un nuovo impulso, e così di seguito. Perciò, durante una rivoluzione completa del disco, l'orifizio inferiore è 18 volte aperto e 18 volte chiuso. Ne risulta una serie di efflussi e di fermate che fanno vibrare l'aria, e finiscono così per produrre un suono, quando le impulsioni successive siano abbastanza rapide. Se ora si suppone che il disco fisso B abbia 18 fori, come il disco girante, ciascun foro produrrà simultaneamente lo stesso effetto di uno solo; il suono sarà dunque 18 volte più intenso, ma il numero delle vibrazioni non ne sarà aumentato.

Per conoscere il numero di vibrazioni corrispondente al suono che rende l'apparato durante il suo movimento di rotazione, resta a sapersi quante rivoluzioni per secondo faccia il disco A. A questo scopo, l'asta T porta una vite perpetua, che trasmette il movimento ad una ruota *a* munita di 100 denti. Questa ruota che avanza di un dente ad ogni rivoluzione del disco, porta un'appendice P, il quale a ciascun giro fa avanzare di un dente una seconda ruota *b* che è rappresentata a sinistra nella figura 142. Gli assi di queste ruote fanno girare due aghi che si muovono su dei quadranti rappresentati nella figura 141. Questi aghi indicano, l'uno il numero dei giri del disco A, l'altro le centinaia di giri. Due bottoni D e C servono ad ingranare o disingranare a piacere la ruoticella *a* colla vite perpetua.

Siccome il suono diventa tanto più acuto quanto più s'accresce la velocità del disco A, basta rinforzare il soffio del mantice per giungere a far rendere all'apparato un suono determinato. Si mantiene allora costante la corrente d'aria per certo tempo, ad esempio, 20 secondi; poi si legge sul qradrante il numero di giri che ha fatto il disco. Moltiplicando questo numero per 18 e dividendo il prodotto per il numero di secondi 20, il quoto indica il numero delle vibrazioni doppie per secondo.

La sirena, a velocità eguale, dà lo stesso suono tanto nell'acqua quanto nell'aria; lo stesso accade in tutti i gas: ciò che mostra che un dato suono non dipende dalla natura del corpo sonoro ma bensì dal numero di vibrazioni.

209. **Mantice.** — Si dà il nome di *mantice*, in acustica, ad un soffietto a serbatoio d'aria destinato a mettere in azione gli strumenti a vento, come la sirena e le canne d'organo. Fra i quattro piedi di una tavola di legno è posto un soffietto S (fig. 144), che si fa muovere col mezzo di un pedale P. Un serbatoio di pelle flessibile D serve a raccogliere l'aria che vi spinge il soffietto. Se si comprime questo serbatoio con dei pesi posti superiormente, o col mezzo di un'asta T sulla quale si prema colla mano, l'aria è spinta per un condotto E in una cassa C fissata sulla tavola. Questa cassa è forata da fori chiusi da piccole valvole di cuoio, che si aprono a volontà premendo su dei tasti disposti sul davanti della cassa. È in questi fori che si fissa una sirena *m*, o dei tubi sonori.

210. **Ruota dentata di Savart.** — La *ruota dentata di Savart*, così chiamata dal suo inventore, è un apparato destinato a far conoscere il numero assoluto di vibrazioni che corrisponde ad un suono determinato. È formato da un banco di abete solidamente fissato in posto, e aperto

in tutta la sua lunghezza. Nell'apertura sono montate due ruote A e B (fig. 145): la prima serve ad imprimere una grande velocità alla più piccola, e questa, che è munita di denti, è destinata a far vibrare

Fig. 144 (a. = 1^m,30).

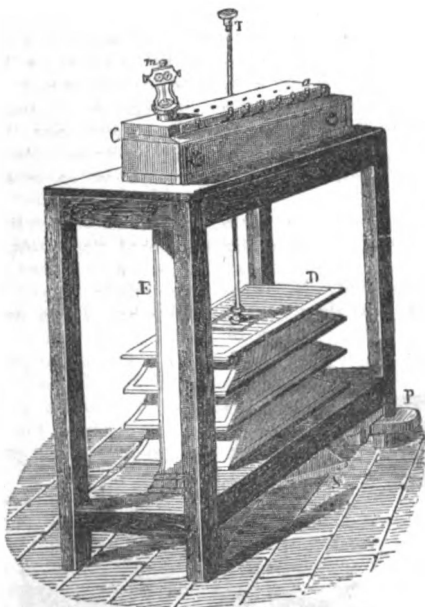
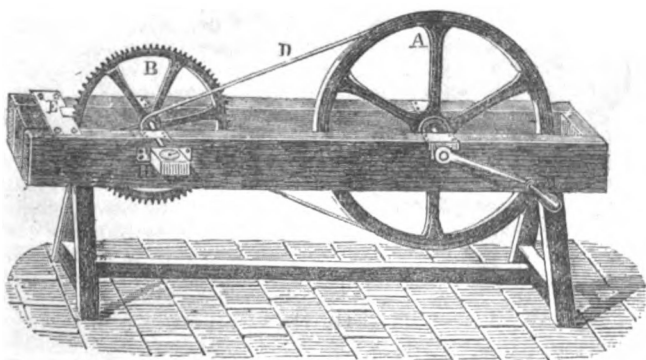



Fig. 145 (a. = 1^m,05).

una carta E fissata sul banco. Questa carta, essendo urtata al passaggio di ciascun dente, fa, per ciascuna rivoluzione completa della piccola

ruota, altrettante vibrazioni complete, quanti sono i denti della ruota. Finalmente sul lato dell'apparato si trova un contatore H, il quale riceve il suo moto dall'asse della ruota dentata, e che indica il numero di giri e, per conseguenza, il numero delle vibrazioni compiute in un dato tempo dalla carta E.

Se si imprime dapprincipio alla ruota dentata un moto lento, si odono distintamente gli urti successivi dei denti contro la carta; ma se si aumenta gradatamente la velocità, si ottiene un suono continuo sempre più acuto. Quando si sia così giunti a riprodurre il suono di cui si vuol conoscere il numero di vibrazioni, si mantiene costante la velocità per un determinato numero di secondi. Leggendo in seguito, sul contatore, il numero di giri della ruota dentata B, non rimane più che moltiplicare questo numero per quello dei denti, onde ottenere il numero totale delle vibrazioni. Dividendo finalmente questo prodotto per il numero di secondi corrispondenti, il quoto dà il numero di vibrazioni al secondo.

211. **Metodo grafico di Duhamel.** — Facendo uso della sirena o della ruota di Savart è difficile di determinare con precisione il numero di

Fig. 147.

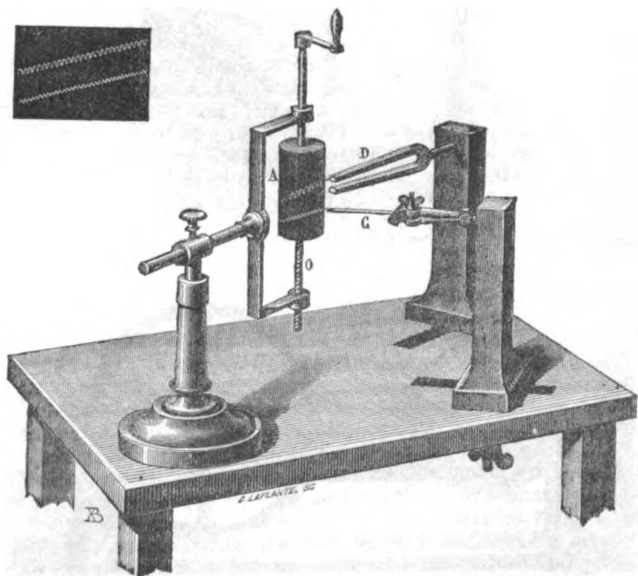



Fig. 146.

vibrazioni corrispondenti ad un dato suono, giacchè bisogna mettere quei due apparati all'unissono con quest'ultimo, ciò che richiede un orecchio esercitato. Il metodo grafico di Duhamel, più semplice e più preciso, non presenta questa difficoltà. Esso consiste nel fissare sul corpo

sonoro un leggero ago che ne traccia le vibrazioni su una superficie convenientemente preparata.

L'apparato di Duhamel si compone di un cilindro A, di legno o di metallo, fissato su un asse verticale O (fig. 146). Si fa girare quest'ultimo per mezzo di una manovella, e girandolo sempre in uno o nell'altro senso, esso prende un moto dall'alto al basso, o dal basso all'alto, col mezzo di un passo di vite tracciato sull'asse stesso e che passa in una madrevite. Attorno al cilindro è ravvolto un foglio di carta sulla quale è depositato un sottile strato non aderente di nero fumo. Gli è su codesto strato che s'inscrivono le vibrazioni. Per ciò, il corpo sonoro essendo, per esempio, una lamina elastica C saldamente fissata ad una sua estremità, si fissa all'altra sua estremità un ago leggero che sfiori, colla sua punta, la superficie del cilindro durante la sua rotazione. Se quest'ultimo gira senza che la lamina vibri, l'ago traccia in bianco sul fondo nero un tratto ad elice regolare; ma se la lamina vibra, il tratto è ondulato, e v'hanno tante ondulazioni, quante sono le vibrazioni della lamina. Non rimane più che determinare il tempo durante il quale si sono effettuate queste vibrazioni.

Si può raggiungere codesto intento in diversi modi: il più semplice è di comparare la curva tracciata dalla lamina vibrante con quella tracciata da un corista (221) che dia un numero conosciuto di vibrazioni al secondo, 500 per esempio. Una delle branche del corista essendo, essa stessa, munita di un ago leggero, si mette quest'ultimo in contatto col nero di fumo, poi si fa vibrare simultaneamente la lamina ed il corista; i due aghi tracciano allora due elici ondulate, ma ineguali. Ora, svolgendo il foglio di carta dal cilindro (fig. 147), e confrontando il numero delle oscillazioni che si corrispondono sulle due curve, è facile dedurne quante vibrazioni faccia la lamina in un secondo. Per esempio, supponiamo che a 150 vibrazioni del corista corrispondano 165 della lamina, ciascuna vibrazione del corista essendo, per ipotesi, di $\frac{1}{500}$ di secondo, 150 vibrazioni corrispondono a $\frac{150}{500}$ di secondo. È dunque in $\frac{150}{500}$ di secondo che la lamina compie 165 vibrazioni. Di conseguenza, in $\frac{1}{500}$ di secondo essa non ne fa che $\frac{165}{150}$, e in un secondo $\frac{165 \times 500}{150}$, o 550.

212. **Limite dei suoni percettibili.** — Prima dei lavori di Savart, i fisici ammettevano che l'udito cessasse di percepire il suono quando il numero delle vibrazioni doppie, per secondo, era inferiore di 16 pei suoni gravi, e superiore di 9000 per gli acuti. Ma questo scienziato mostrò che tali limiti erano troppo ristretti, e che la facoltà di percepire più o meno facilmente dei suoni gravissimi od acutissimi dipende piuttosto dalla intensità che dall'altezza; di modo che quando i suoni estremi non sono uditi, è per ragione che questi suoni non sono stati prodotti con sufficiente intensità da impressionare l'organo dell'udito.

Aumentando il diametro della sua ruota dentata (210), e, per conseguenza, l'ampiezza e l'intensità delle vibrazioni, Savart ha portato il limite dei suoni acuti fino a 24 000 vibrazioni doppie per secondo.

Pei suoni gravi, egli ha sostituito alla sua ruota dentata una barra di ferro di 65 centimetri di lunghezza, girante fra due lamine sottili di legno, distanti dalla barra di soli 2 millimetri. A ciascun passaggio si produce un suono secco dovuto allo spostamento dell'aria. Il movimento accelerandosi, il suono diventa continuo, sommamente pieno e assordante. Savart ha trovato, col mezzo di quest'apparato che, allorquando si produce da 7 ad 8 vibrazioni doppie per secondo, l'orecchio percepisce ancora un suono ben determinato, ma gravissimo.

Despretz, che ha fatto delle ricerche sullo stesso argomento, trova 16 vibrazioni doppie per limite dei suoni gravi, e 36 850 per limite dei suoni acuti.

CAPITOLO III.

TEORIA FISICA DELLA MUSICA

213. **Qualità del suono musicale.** — Il *suono musicale* è il risultato di vibrazioni continue, rapide e isocrone, che producono sull'organo dell'udito una sensazione prolungata. Si può sempre confrontarlo con altri suoni e prenderne l'unisono, ciò che non può farsi pel rumore (193).

L'udito distingue nel suono musicale tre qualità particolari: l'*altezza*, l'*intensità* e il *metallo* (fr. timbre).

Altezza. — L'*altezza* è l'impressione che fa, sull'organo dell'udito, il maggiore o minore numero di vibrazioni compiute in un dato tempo. Si chiamano *suoni gravi* quelli che sono prodotti da un piccolo numero di vibrazioni, e *suoni acuti* quelli che sono il risultato di un gran numero di vibrazioni. Non vi sarebbero dunque suoni assolutamente gravi od acuti in fuori di quelli che si trovano agli estremi della scala dei suoni percettibili. Tutti i suoi intermedi non sono gravi od acuti che relativamente. Tuttavia si suol dire un *suono grave* od un *suono acuto*, come si direbbe una *temperatura bassa* od una *temperatura elevata*, comparando il suono a quelli che si odono più comunemente.

Il rapporto di gravità o di acutezza di due suoni si chiama *tono*, cioè questo vocabolo esprime il grado di altezza di un suono: in senso musicale, esso esprime il grado dell'altezza della gamma stabilita.

Intensità. — Si è già veduto (198), che l'*intensità*, ossia la forza del suono, dipende dall'ampiezza delle oscillazioni e non dal loro numero. Uno stesso suono può conservare lo stesso grado di gravità o di acutezza, e prendere una maggiore o minore intensità, quando si faccia variare l'ampiezza delle oscillazioni che lo producono. È quanto accade per una corda tesa, a seconda che la si devia più o meno dalla sua posizione di equilibrio.

Metallo. — Il *metallo* (fr. timbre) è quella qualità del suono per la quale due suoni, benchè egualmente alti ed egualmente intensi, possono essere distinti se prodotti da due diversi strumenti. Il suono dell'oboè, per

esempio, è distintissimo da quello del flauto; e quel del corno da quello del bassone. Anche la voce umana presenta un metallo ben diverso, secondo gli individui, le età e i sessi.

La causa del metallo non è ben conosciuta. Questa qualità sembra dipendere non solo dalla materia degli strumenti, ma anche dalla loro forma e dal modo con cui vibrano; si cangia completamente il suono di una tromba di ottone incrudito, se la si ricuoce in un forno. Si osserva inoltre che la tromba diritta dà un suono più fragoroso della ricurva.

214. **Unisono.** — Due suoni prodotti da uno stesso numero di vibrazioni per secondo sono detti all'*unisono;* essi sono in tal caso di eguale altezza, cioè egualmente gravi od acuti. Per esempio, la ruota di Savart e la sirena sono all'unisono quando i loro contatori indicano uno stesso numero di vibrazioni nello stesso tempo.

Si può sempre prendere l'unisono di un suono musicale, ma non si può prendere quello di un rumore. Ed è ponendo la sirena all'unisono di un corpo sonoro che si constata il numero di vibrazioni di quest'ultimo.

Un suono essendo determinato dal numero di vibrazioni che gli corrisponde, si può rappresentarlo con questo numero. È appunto quanto si è convenuti di fare onde paragonare i suoni tra loro; ma più spesso, invece di rappresentare i suoni col loro numero assoluto di vibrazioni, si rappresentano per il loro numero relativo. Ad esempio, tre suoni corrispondenti ai numeri di vibrazioni 72,144,288, si rappresentano il primo con 1, il secondo con 2, e il terzo con 4.

215. **Battimenti.** — Quando due suoni, che non siano all'unisono, si producono simultaneamente, si ode, ad intervalli fra loro eguali, un rinforzamento del suono, che si chiama *battimento.* Siano, per esempio, 30 e 31, il numero di vibrazioni di questi due suoni; dopo 30 vibrazioni del primo, o 31 del secondo, vi sarà coincidenza e, per conseguenza, *battimento.* Se i battimenti sono abbastanza ravvicinati per produrre un suono continuo, questo sarà evidentemente più grave di quelli da cui deriva, poichè proviene da una sola vibrazione, quando gli altri provengono da 30 e 31.

216. **Accordi, intervalli.** — Si chiama *accordo* la coesistenza di più suoni producente sull'organo dell'udito una sensazione aggradevole. Se invece questo organo è sgradevolmente affetto, si dice che v'ha dissonanza.

L'*intervallo* tra due suoni è il rapporto $\frac{n'}{n}$ dei due numeri di vibrazioni che loro corrispondono, n' essendo sempre maggiore di n; vale a dire che è fatta convenzione di prendere per primo termine del rapporto il suono più acuto. Siccome poi la frazione $\frac{n'}{n}$ non muta di valore se si moltiplicano o si dividono i suoi due termini per uno stesso numero, si vede che l'intervallo di due suoni non dipende dal numero assoluto di vibrazioni, ma solamente dal numero relativo.

L'orecchio non è gradevolmente affetto se non se quando i due termini del rapporto $\frac{n'}{n}$ sono piccoli numeri, e si dice in tal caso che v'ha *consonanza.* Gli intervalli più aggradevoli all'orecchio sono i seguenti:

$$\frac{n'}{n} = 1, \quad \text{è l'}\textit{unisono}.$$

$$\frac{n'}{n} = \frac{2}{1} \ . \ \text{l'}\textit{ottava}.$$

$$\frac{n'}{n} = \frac{5}{3} \ . \ \text{la } \textit{sesta}.$$

$$\frac{n'}{n} = \frac{3}{2} \ . \ \text{la } \textit{quinta}.$$

$$\frac{n'}{n} = \frac{4}{3} \ . \ \text{la } \textit{quarta}.$$

$$\frac{n'}{n} = \frac{5}{4} \ . \ \text{la } \textit{terza maggiore}.$$

$$\frac{n'}{n} = \frac{6}{5} \ . \ \text{la } \textit{terza minore}.$$

Questi rapporti si scontrano frequentemente, e importa di ricordarseli. Tutte le volte che i numeri di vibrazioni di due suoni sono tra loro come 2 ad 1, o come 3 a 2, o come 4 a 3..., si dice, del più acuto, che dà l'ottava, la quinta o la quarta dell'altro suono; e reciprocamente, se si dice che due suoni formano una quarta, una terza maggiore..., ciò significa che i loro numeri di vibrazioni stanno fra loro come 4 a 3, o come 5 a 4, e così di seguito.

217. **Armonici.** — Si chiamano *suoni armonici*, o semplicemente *armonici*, dei suoni i cui numeri di vibrazioni stanno fra loro come la serie naturale dei numeri interi 1, 2, 3, 4, 5, 6,.... La sovrapposizione di due di questi suoni dà un accordo tanto più consonante, quanto più in basso della serie si prendono. Infatti, il secondo armonico è l'ottava del primo; il terzo, che vale $\frac{3}{2} \times 2$, ne è la doppia quinta; il quarto, che può scriversi 2×2, ne è la doppia ottava; il quinto, che equivale a $\frac{5}{4} \times 4$, ne è la quadrupla terza. Di più, i due primi armonici danno l'ottava; il secondo e il terzo, la quinta; il terzo e il quarto la quarta; il quarto e il quinto, la terza. Gli armonici non danno dunque che degli accordi, da cui deriva il nome col quale si indicano. Tuttavia ciò non è esatto che pei primi suoni della serie; giacchè quanto più si innalza, più l'accordo tende a mutarsi in dissonanza.

Avremo occasione di ritornare sugli armonici studiando le leggi delle vibrazioni delle corde e dei tubi sonori (228 e 234). Attualmente, sapendo come si confrontano tra loro i suoni per mezzo dei numeri di vibrazioni che loro corrispondono, ne studieremo l'applicazione alle note della gamma.

218. **Scala musicale, gamma.** — Si chiama *scala musicale* una serie di suoni separati fra loro da intervalli che sembrano avere la loro origine nella natura della nostra organizzazione.

In codesta serie, i suoni si riproducono, periodicamente di sette in sette; ciascun periodo si chiama *gamma*, e i sette suoni o *note* di ciascuna gamma, si appellano coi nomi: *do, re, mi, fa, sol, la, si.*

Confrontando fra loro, sia col mezzo della sirena (208), sia col mezzo della ruota dentata di Savart o del metodo grafico di Duhamel (210 e 211), i numeri di vibrazioni delle sette note della gamma, e rappresentandone il suono più grave, il *do* fondamentale con 1, si trova che i numeri relativi di vibrazioni corrispondenti a queste note sono rappresentati dalle seguenti frazioni:

[A]	Note	*do*	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*
	Numero relativo di vibrazioni	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$.

Ma qui non si ferma la scala musicale; questa gamma è seguíta da una serie di gamme simili, ciascuna cominciante col *do* che termina la precedente, e una nota qualunque in ciascuna gamma, avendo per corrispondente un numero di vibrazioni doppio di quello della nota di egual nome nella gamma che la precede; vale a dire che in ciascuna gamma le note sono tutte dei multipli, per le potenze crescenti di 2, delle note dello stesso nome nella gamma fondamentale.

219. **Intervalli delle note della gamma, diesis e bemolli.** — Le frazioni che occupano la seconda linea della esposta tavola [A] non rappresentano soltanto i numeri di vibrazioni relativi rapporto al *do* fondamentale, ma gli intervalli successivi delle sei ultime note rapporto alla prima. Ora, se si cercano gli intervalli tra le note consecutive, si ottiene la seguente tavola:

[B]	Note	*do*		*re*		*mi*		*fa*		*sol*		*la*		*si*		*do*
	Numeri relativi di vibrazioni	1		$\frac{9}{8}$		$\frac{5}{4}$		$\frac{4}{3}$		$\frac{3}{2}$		$\frac{5}{3}$		$\frac{15}{8}$		2
	Intervalli		$\frac{9}{8}$		$\frac{10}{9}$		$\frac{16}{15}$		$\frac{9}{8}$		$\frac{10}{9}$		$\frac{9}{8}$		$\frac{16}{15}$.	

Si scorge che i diversi intervalli tra le sette note della gamma si riducono a tre, che sono: $\frac{9}{8}$, $\frac{10}{9}$ e $\frac{16}{15}$. Il primo, che è il maggiore, si chiama *tono maggiore;* il secondo *tono minore,* e il terzo, che è il più piccolo, si denomina *semi-tono maggiore.* Da ciò deriva che ogni qualvolta fra due suoni esiste un intervallo di $\frac{9}{8}$ o di $\frac{10}{9}$, si dice che v'ha fra loro un *tuono;* e se l'intervallo è $\frac{16}{15}$, che v'ha un *semi-tono.* Si può dunque dire che gli intervalli successivi della gamma *do, re, mi, fa, sol, la, si, do,* comprendono due tuoni, un semi-tono, tre toni e un semi-tono.

L'intervallo tra il tuono maggiore e il tuono minore è di $\frac{80}{81}$. È il più piccolo intervallo che si considera; ed abbisogna un orecchio esercitato per apprezzarlo. Gli si dà il nome di *comma.*

Gli intervalli di ciascuna nota per riguardo al *do* fondamentale si contraddistinguono coi seguenti nomi:

L'intervallo fra *do* e
- *re* $= \frac{9}{8}$ si chiama una *seconda*.
- *mi* $= \frac{5}{4}$ . . . . . *terza*.
- *fa* $= \frac{4}{3}$ . . . . . *quarta*
- *sol* $= \frac{3}{2}$ . . . . . *quinta*.
- *la* $= \frac{5}{3}$ . . . . . *sesta*.
- *si* $= \frac{15}{8}$ . . . . . *settima*.
- *do* $= 2$ . . . . . *ottava*.

Si è già veduto che diversi di questi intervalli danno degli accordi consonanti (216); la *seconda* e la *settima*, espresse da rapporti complicati danno delle dissonanze.

La gamma della quale abbiamo dati i rapporti di vibrazioni si chiama *gamma diatonica;* si chiama *gamma cromatica* quella che procede per semi-toni, e si compone di 13 suoni.

I musici sono stati condotti ad intercalare fra le note della gamma delle note intermedie che si indicano coi nomi di *diesis* e di *bemolli*. Perchè una nota *passi a diesis* bisogna aumentare il numero delle sue vibrazioni nel rapporto di 24 a 25; per *ridurla a bemolle* bisogna diminuire questo numero nel rapporto di 25 a 24. Nella musica il diesis è rappresentato dal segno ♯, e il bemolle dal segno ♭.

220. **Accordi perfetti.** — Si dà il nome di *accordo perfetto* a tre suoni simultanei tali che il primo e il secondo formano una terza maggiore, il secondo e il terzo una terza minore, il primo e il terzo una quinta; vale a dire tre suoni tali che i numeri di vibrazioni che loro corrispondono stiano fra loro come 4 a 5 a 6. Questa condizione è soddisfatta dalle tre note *do*, *mi*, *sol*, i cui numeri di vibrazioni stanno fra loro come 1, $\frac{5}{4}$ e $\frac{3}{2}$, ossia come 4, 5 e 6. Di tutti gli accordi il più gradevole, è l'*accordo perfetto maggiore*. I tre suoni 10, 12, 15 i cui intervalli sono $\frac{6}{5}$, $\frac{5}{4}$ e $\frac{3}{2}$, i quali non differiscono dai precedenti che per l'ordine dei due primi, danno l'*accordo perfetto minore*.

221. **Corista.** — Il *corista* è un piccolo strumento col mezzo del quale si riproduce a volontà una nota invariabile; ciò che lo rende proprio a regolare gli strumenti musicali. Consiste in una verga di acciaio ricurva a foggia di pinzetta (fig. 148). Lo si fa vibrare o collo sfregare i suoi lembi con un archetto, o allontanando le sue due branche con un cilindro di ferro che si introduce a forza fra i medesimi, come mostra la figura. Le due branche, così allontanate dalla loro posizione di equilibrio, vi ritornano vibrando, e producono un suono che è costante per ciascun corista. Si rinvigora il suono di questo strumento fissandolo su di una cassa di legno tenero aperta ad una delle sue estremità.

Il numero di vibrazioni del corista variando colla lunghezza e collo spessore delle sue branche lo si regola colla sirena, o meglio col procedi-

mento grafico di Duhamel. Il numero di vibrazioni semplici del corista è stato dapprima di 856 per secondo; ma siccome per regolare il tuono dei loro strumenti, i musici non facevano uso di questo strumento, accadde che il tono continuasse ad elevarsi su tutti i grandi teatri d'Europa, e che d'altronde non fosse lo stesso a Parigi, a Vienna, a Berlino, a Milano, ecc. I costruttori portarono per ciò il numero di vibrazioni del corista ad 880; finalmente, nel 1859, una commissione scelta a questo scopo adottò un *corista normale*, obbligatorio per tutti gli stabilimenti musicali della Francia. Codesto corista, di cui un campione è depositato presso il Conservatorio di musica di Parigi, dà 870 vibrazioni semplici per secondo. Si vedrà più avanti qual è la nota corrispondente a questo numero.

Fig. 148.

222. **Notazione delle gamme, numero assoluto di vibrazioni.** — Il numero assoluto di vibrazioni che corrisponde al *do* fondamentale della gamma essendo affatto arbitrario, si può ammettere un numero indeterminato di gamme. Ma, come punto di partenza per tutte le altre, si è scelta quella il cui *do* corrisponde al suono più grave del violoncello, e si è fatta convenzione, in fisica, di contraddistinguere le note di questa gamma dando loro l'indice $_1$; mentre si dà alle note delle gamme più alte gli indici $_2$, $_3$.... e alle note delle gamme più gravi, gli indici $_{-1}$, $_{-2}$...., cioè do_1, re_1, do_{-1}, re_{-1}.... Per esempio, fa_2 è all'ottava acutadi fa_1, e fa_{-2} è all'ottava grave.

Ciò posto, non si sono considerati fin qui che i numeri relativi di vibrazioni, ma da questi è facile dedurne i numeri assoluti. Infatti si è convenuto che il numero 870 di vibrazioni semplici o 435 di vibrazioni doppie, adottato, come è stato detto sopra, per il corista (221), rappresenta la_3. Per conseguenza, i numeri di vibrazioni relative di *do* e *la* essendo 1 e $\frac{5}{3}$, se si rappresenta con n il numero di vibrazioni di do_3, si deve avere $n \times \frac{5}{3} = 435$; da cui $n = 261$ vibrazioni doppie. do_3 una volta conosciuto, si avranno le altre note re_3, mi_3, fa_3....., moltiplicando 261 per $\frac{9}{8}$, per $\frac{5}{4}$ per $\frac{4}{3}$..... (218, A). Quanto a do_2, esso è eguale a $\frac{do_3}{2} = 130\frac{1}{2}$, e $do_1 = \frac{do_2}{2} = 65\frac{1}{4}$.

Il valore di do_1 era anticamente 64; l'aumento che esso ha subito risulta dal maggior numero di vibrazioni attribuito al corista.

223. **Lunghezza delle onde.** — Quando si conosca il numero di vibrazioni che un corpo sonoro fa per secondo, è facile di dedurne la lunghezza

delle onde. Si sa, infatti, che, a 10 gradi, il suono percorre 337 metri al secondo; per conseguenza, se un corpo non facesse che una vibrazione doppia per secondo, la lunghezza dell'onda sarebbe di 337 metri; se ne facesse due, la lunghezza dell'onda sarebbe la metà di 337 metri; se ne facesse tre, il terzo; e così di seguito. Ciò che è quanto dire *la lunghezza dell'onda è il quoto della velocità del suono divisa per il numero di vibrazioni complete;* e ciò, qualunque sia l'altezza del suono, poichè la velocità è la stessa pei suoni tanto gravi quanto acuti (201).

Se dunque si rappresenta con v la velocità del suono, la lunghezza dell'onda con l, il numero di vibrazioni per secondo con n, si avrà $v = ln$; formola da cui si cava $n = \frac{v}{l}$; ciò che fa vedere che il numero di vibrazioni è in ragione inversa della lunghezza dell'onda.

VIBRAZIONI DELLE CORDE

224. Vibrazioni delle corde. — Si dà il nome di *corde,* in acustica, a dei corpi filoformi, generalmente di metallo o di budella, elastici per tensione.

Si distinguono nelle corde due sorta di vibrazioni, le une *trasversali,* ossia in una direzione perpendicolare alle corde; le altre longitudinali, ossia nel senso della loro lunghezza. Si eccitano le prime con un archetto, come sul violino, o pizzicando le corde, come si fa coll'arpa o colla chitarra. Quanto alle vibrazioni longitudinali, si fanno nascere sfregando le corde nel senso della loro lunghezza, con un pezzo di stoffa cosparsa di colofonia in polvere.

225. Sonometro. — Il *sonometro* è un apparato che serve a studiare le vibrazioni trasversali delle corde. Si chiama anche *monocordo,* perchè sovente non porta che una sola corda. Questo apparato si com-

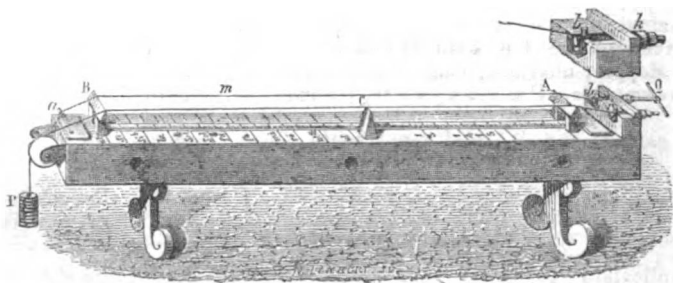



Fig. 149.

pone di una cassa di legno sottile, destinata a rinforzare il suono; su questa cassa sono due cavalletti fissi A e B (fig. 149), distanti l'uno dall'altro di un metro. Da un cavalletto all'altro corre una scala divisa in millimetri, e a sinistra e a destra di questa scala sono tracciate sulla cassa due serie di divisioni, indicanti, l'una la gamma vera

o diatonica (219), l'altra la gamma *temperata,* vale a dire una gamma nella quale l'ottava è divisa in dodici intervalli rigorosamente eguali, che si chiama *semi-tono medio.* Sui cavalletti passano due corde: l'una, *m,* si ravvolge per una estremità su di un bottone di ferro *a*, che è fisso; e dall'altro lato si ravvolge su un altro bottone *b*, che è unito ad una vite orizzontale, e che si allontana più o meno facendo girare una madrevite *k,* nella quale passa la vite, in modo da poter stirare la corda a volontà. La seconda corda *n*, fissa nello stesso modo alla sua estremità *r,* passa coll' altra nella gola di una caruccola. Là essa è tesa da un peso P, di piombo, che si aumenta fino a tanto che la corda abbia preso la tensione voluta. Finalmente un cavalletto mobile C può spostarsi sotto la corda per farne variare la lunghezza.

La prima corda *m* è a suono fisso; cioè la si tende fino a che renda un dato suono, col quale si confrontano in seguito i suoni resi dalla corda *n*, a misura che la si stira o che la si raccorcia. Ancora possono le due corde passare ciascuna nella gola di una caruccola, e in questo caso esse sono stirate da pesi eguali o in un dato rapporto.

226. **Leggi delle vibrazioni trasversali delle corde.** — Il calcolo e l'esperienza fanno vedere che le vibrazioni trasversali delle corde sono soggette alle leggi seguenti:

1.° *Rimanendo costante la tensione di una corda, il numero di vibrazioni, in tempi eguali, è inversamente proporzionale alla lunghezza.*

2.° *A parità di circostanze, il numero delle vibrazioni è in ragione inversa del raggio della corda.*

3.° *Il numero delle vibrazioni di una stessa corda è direttamente proporzionale alla radice quadrata del peso che la stira.*

4.° *A parità di circostanse, il numero delle vibrazioni di una corda è inversamente proporzionale alla radice quadrata della sua densità.*

In musica, codeste leggi trovano la loro applicazione negli strumenti a corde, nelle quali si fa variare la lunghezza, il diametro, la tensione e la natura delle corde, in modo da far loro rendere la tale o tal'altra nota.

Codeste leggi sono comprese nella formola $n = \frac{1}{rl}\sqrt{\frac{P}{\pi d}}$, nella quale n rappresenta il numero di vibrazioni semplici per secondo, l la *lunghezza* della corda, vale a dire la parte vibrante compresa tra i due cavalletti A e B (fig. 149). r il raggio della sezione della corda, P il peso che la stira, e finalmente d la sua densità, vale a dire la massa sotto l'unità di volume (40); π, è il rapporto della circonferenza al diametro, il quale, come si sa, è costante ed eguale a 3,141592.....

In codesta formola P è misurato in chilogrammi, l ed r in decimetri.

Osservazione sulla formola delle vibrazioni delle corde. — Si dà alla formola sulle vibrazioni trasversali delle corde, ora la forma $n = \frac{1}{rl}\sqrt{\frac{P}{\pi d}}$ [1] data qui sopra, ora la forma $n = \frac{1}{rl}\sqrt{\frac{gP}{\pi d}}$ [2]. Codesta differenza dipende da ciò che, nella formola [2], d rappresenta il peso specifico della corda, vale a dire la sua densità relativa (41), mentre nella formola [1], la stessa lettera rappresenta la densità assoluta. Infatti, Lagrange ha dato la formola delle vibrazioni trasversali delle corde sotto la forma $n = \sqrt{\frac{gP}{lp}}$ [3], nella quale n, P ed l avendo la stessa significazione che hanno nelle formole date di sopra, g rappresenta l'intensità della gravità (57), e p il peso della porzione vibrante della corda. Ora, secondo la nota formola $P = VD$ (106), si ha $p = \pi r^2 ld$, d essendo il peso specifico della corda, e $\pi r^2 l^2$ il suo volume, poichè essa non è altro che un cilindro di

raggio r e di altezza l; sostituendo questo valore di p nella formola di Lagrange, si trova $n = \sqrt{\frac{gP}{\pi r^2 l^2 d}} = \frac{1}{rl}\sqrt{\frac{gP}{\pi d}}$.

Al contrario, se si rappresenta con d la densità assoluta della corda, si avrà, secondo la formola $P = VDg$ (41), $p = \pi r^2 lgd$; e sostituendo ancora questo valore nella formola di Lagrange, si ottiene $n = \frac{1}{rl}\sqrt{\frac{P}{\pi d}}$, formola che è quella che abbiamo data qui sopra.

Fino a che non si considereranno che numeri relativi di vibrazioni, sarà più semplice di far uso della formola [1]; ma se si vuol calcolare il numero assoluto di vibrazioni che fa la corda per secondo, si dovrà ricorrere alla formola [2], avendo cura di misurare g in decimetri.

227. **Verificazione sperimentale delle leggi delle vibrazioni trasversali delle corde.** — *Legge delle lunghezze.* — Per verificare questa legge, rammentiamoci che i numeri relativi di vibrazioni delle note della gamma sono

$$\begin{matrix} do & re & mi & fa & sol & la & si & do. \\ 1 & \frac{9}{8} & \frac{5}{4} & \frac{4}{3} & \frac{3}{2} & \frac{5}{3} & \frac{15}{8} & 2. \end{matrix}$$

Ciò posto, se si fa vibrare la corda del sonometro, dapprima intera, poi dando ad essa, mediante il cavalletto mobile, le lunghezze $\frac{8}{9}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{8}{15}$ e $\frac{1}{2}$, inverse dei numeri dati qui sopra, si ottengono successivamente tutte le note della gamma, ciò che prova abbastanza bene la prima legge.

Legge dei raggi. — Si verifica questa legge stirando egualmente sul sonometro due corde di egual sostanza, i cui diametri siano, per esempio, 3 e 2. Ora facendole vibrare, la seconda dà la quinta della prima; il che prova ch'essa fa 3 vibrazioni mentre la prima non ne fa che 2.

Legge delle tensioni. — Collocate sul sonometro due corde identiche, si stirano con pesi che sian tra loro come 4 e 9. Ora, la seconda dà ancora la quinta della prima; da cui si conchiude che i loro numeri di vibrazioni sono tra loro come 2 e 3; vale a dire come le radici quadrate delle tensioni. Se i due pesi fossero tra loro come 16 e 25, si otterrebbe la terza maggiore, o $\frac{5}{4}$.

Legge delle densità. — Si fissano sul sonometro due corde dello stesso raggio, ma di densità diversa. Dando loro la stessa tensione, si dispone il cavalletto mobile sotto la più densa in modo che questa abbia una lunghezza tale da rendere l'unisono coll'altra corda. d, d' essendo in tal caso le densità delle due corde, e l, l' le lunghezze che vibrano all'unisono, si trova $\frac{l}{l'} = \frac{\sqrt{d}}{\sqrt{d'}}$. Ora, siccome, secondo la prima legge, si sa che $\frac{l}{l'} = \frac{n'}{n}$, si ha $\frac{n'}{n} = \frac{\sqrt{d}}{\sqrt{d'}}$; equazione che verifica la legge

228. **Nodi e linee nodali, suoni armonici delle corde.** — Allorchè un corpo è in vibrazione, non solamente esso vibra nel suo insieme, ma

si divide generalmente in un certo numero di parti aliquote, di cui ciascuna è animata da vibrazioni proprie.

Fra queste diverse parti esistono dei punti e delle linee sensibilmente fisse. Sono appunto questi punti e queste linee che si designano coi nomi di *nodi* e di *linee nodali*. Le parti vibranti comprese fra due nodi o due linee nodali si chiamano *concamerazioni*. Il punto di mezzo di una concamerazione, ove è massima l'ampiezza delle vibrazioni, dicesi *ventre*.

Le corde vibranti presentano esempi curiosi di nodi e di ventri, quando non si faccia vibrare che una parte aliquota della loro lunghezza, cioè un terzo, un quarto, un quinto. Perciò si fissa la corda ai suoi due estremi, e si fa scorrere al disotto di essa un piccolo cavalletto, che si ferma successivamente al terzo, al quarto, al quinto della corda. Corrispondendo il cavalletto al terzo della corda, come lo rappresenta la figura 150, si fa vibrare la porzione BD con un archetto; l'altra porzione AB si suddivide in due parti AC e CB, che vibrano separatamente, il punto C rimanendo fisso. Il qual fatto si constata facilmente ponendo delle strette listerelle di carta a cavalcioni della

Fig. 150.

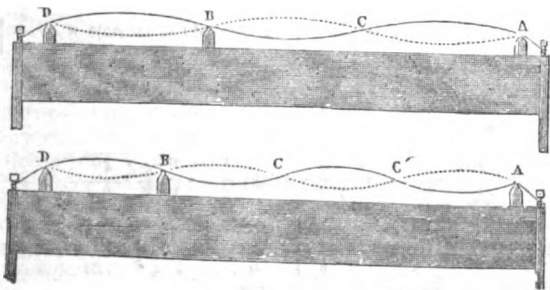



Fig. 151.

corda, l'una in C, l'altra fra B e C, una terza fra C e A. Quella posta in C non prova che una leggera scossa, mentre le altre due vengono lanciate a distanza. V'ha dunque un nodo nel primo punto e dei ventri negli altri due. Se il cavalletto B è ad un quarto della corda, si producono tra A e B due nodi e tre ventri (fig. 151); se esso si trova ad un quinto, si formano, fra gli stessi punti, tre nodi e quattro ventri, e così di seguito.

Quando una corda un po' lunga vibra tutta intera, un udito esercitato distingue chiaramente, oltre al suono fondamentale, gli *armonici* 2, 3, 4, 5; vale a dire l'ottava acuta del suono fondamentale, la quinta della ottava, la doppia ottava e la terza maggiore (216).

Lo stesso fenomeno si riproduce in tutti i corpi vibranti, come si dirà ben tosto dei tubi sonori (234).

229. Problemi sulle vibrazioni trasversali delle corde. — I. Una corda metallica fa 300 vibrazioni per secondo, sotto la tensione di 25 chilogrammi, quante ne farebbe sotto una tensione di 49 chilogrammi?

A parità di circostanze, i numeri di vibrazioni essendo direttamente proporzionali alle radici quadrate dei pesi che stirano la corda (3.ª *legge*, 226), si ha, rappresentando con n il numero di vibrazioni cercato,

$$\frac{n}{500} = \frac{\sqrt{49}}{\sqrt{25}}, \text{ da cui } n = \frac{500 \times 7}{5} = 700.$$

II. Una corda stirata da un peso di 15 chilogrammi rende un certo suono; quale dovrebbe essere la forza di tensione affinchè la corda rendesse la terza maggiore del suono primitivo? — Si sa che la terza maggiore è rappresentata da $\frac{5}{4}$, quando il suono primitivo lo sia da 1.

I numeri di vibrazioni dei due suoni essendo fra loro come 1 è a $\frac{5}{4}$, o, ciò che vale lo stesso, come 4 è a 5, se si rappresenta con P il peso cercato, si ha

$$\frac{4}{5} = \frac{\sqrt{15}}{\sqrt{P}}, \text{ o } \frac{16}{25} = \frac{15}{P}; \text{ da cui } P = \frac{25 \times 15}{16} = 23^{chil},437^{gr},5.$$

III. Una corda di platino di $0^{mill},8$ di diametro e una corda di ferro di $1^{mill},3$ essendo tese da pesi eguali, quali devono essere le loro lunghezze relative perchè rendano due suoni all'unissono? — Si sa che il peso specifico del platino è 23, quello del ferro 7,78.

Rappresentiamo con R, L, D, il raggio, la lunghezza e la densità della corda di platino; con r, l, d le stesse quantità per la corda di ferro; e con P il peso che le stira.

I numeri di vibrazioni essendo eguali, si ha, secondo la formola $n = \frac{1}{rl}\sqrt{\frac{P}{\pi d}}$,

$$\frac{1}{RL}\sqrt{\frac{P}{\pi D}} = \frac{1}{rl}\sqrt{\frac{P}{\pi d}},$$

o, sopprimendo i fattori comuni,

$$\frac{1}{RL} \cdot \frac{1}{\sqrt{D}} = \frac{1}{rl} \cdot \frac{1}{\sqrt{d}}, \text{ da cui } \frac{L}{l} = \frac{r}{R}\sqrt{\frac{d}{D}}.$$

Se si prende $l = 1$, si ottiene $L = \frac{r}{R}\sqrt{\frac{d}{D}} = \frac{6,5}{4} \cdot \sqrt{\frac{7,78}{23}} = 0,945.$

Le due lunghezze relative sono dunque 1 e 0,945.

IV. Calcolare, col sonometro, il numero di vibrazioni corrispondente ad un dato suono.

Supponendo che la corda del sonometro renda un suono inferiore a la_3 del corista (221), la si accorcia mediante il cavalletto mobile, finchè essa renda codesta nota, cioè fino a che essa faccia 870 vibrazioni semplici per secondo. Si misura la lunghezza l della parte vibrante; poi, avanzando o ritraendo il cavalletto, si cerca la lunghezza che deve avere la corda per essere all'unisono del suono dato. l' essendo questa lunghezza, e n il numero di vibrazioni corrispondente, vale a dire il numero cercato, si ha, dietro la legge delle lunghezze, $\frac{n}{870} = \frac{l}{l'}$, da cui $n = \frac{870\,l}{l'}$.

230. Vibrazioni longitudinali delle corde. — Si è già veduto che per determinare in una corda tesa delle vibrazioni longitudinali, la si sfrega nel senso della sua lunghezza con un pezzo di panno cosparso di colofonia in polvere (224).

Si trova col calcolo che le leggi delle vibrazioni longitudinali delle corde sono date dalla formola $n = \frac{1}{rl}\sqrt{\frac{gQ}{\pi d}}$, n, r, l, g e d avendo lo stesso significato che hanno nella formola delle vibrazioni trasversali, e Q essendo il *coefficiente di elasticità* della corda. Si designa sotto codesto nome *il peso che sarebbe necessario per dare alla corda una tensione tale, che essa si allungasse di una quantità eguale a sè stessa;* allungamento che non può mai realizzarsi, accadendo la rottura sempre molto prima.

Dalla formola qui sopra enunciata si deducono quattro leggi identiche a quelle già date per le vibrazioni trasversali.

CAPITOLO IV.

VIBRAZIONE DELL'ARIA NEI TUBI SONORI

231. **Tubi sonori.** — Si dà il nome di *tubi sonori* a dei tubi cavi nei quali si producono dei suoni facendo vibrare la colonna di aria che vi è rinchiusa. Nei diversi apparecchi descritti fin qui, il suono risulta dalle vibrazioni di corpi solidi; l'aria non ne è che il veicolo. Negli istrumenti a vento, quando i tubi hanno le loro pareti sufficientemente resistenti, è solo la colonna d'aria rinchiusa nei tubi il corpo sonoro. Si constata, infatti, che la materia dei tubi è senza influenza sul suono; essa è lo stesso a dimensioni eguali, se i tubi siano di legno, di cristallo o di metallo. Il solo metallo (*timbre*) è modificato.

Se non si facesse che soffiare nei tubi, non vi sarebbe suono, ma solamente un movimento progressivo continuo di aria. Perchè si produca un suono, bisogna, con un mezzo qualunque, eccitare nell'aria una successione rapida di condensazioni e di rarefazioni, che si propagano in seguito a tutta la colonna d'aria contenuta nel tubo. Da ciò, la necessità di dare all'*imboccatura*, vale a dire all'estremità del tubo per la quale vi giunge l'aria, una forma conveniente perchè quest'ultima non possa entrare che per intermittenze e non in modo continuo. Secondo la disposizione adottata per mettere così l'aria in vibrazione, i tubi sonori si distinguono in *tubi a bocca* e in *tubi a linguetta*.

232. **Tubi a bocca.** — Nei tubi a bocca tutte le parti dell'imboccatura sono fisse. Codesti tubi sono di legno o di metallo, prismatici o cilindrici, e sempre di grande lunghezza rapporto al loro diametro. La figura 152 rappresenta un tubo a bocca, e la figura 153 ne mostra una sezione longitudinale, che lascia scorgere i particolari interni. In questo tubo la parte inferiore P, per la quale giunge l'aria, si chiama il *piede;* esso serve a fissare il tubo su di un mantice (fig. 157). Alla sua uscita dal piede, l'aria passa in una stretta apertura *i*, che si chiama la *luce*. Di contro a questa è praticata, nella parete opposta, un'apertura trasversale che è la *bocca;* il suo margine *a*, tagliato ad ugnatura, è il *labbro superiore,* e il margine *b*, il *labbro inferiore.*

Ciò posto, la corrente d'aria che passa per la luce si rompe contro l'ugnatura del labbro superiore, vi si comprime, e, per un effetto di elasticità, reagisce sulla corrente che continua a giungere e la trattiene; ma codesto arrestamento non ha luogo che durante un intervallo di tempo cortissimo; giacchè l'aria fuggendo per la bocca, la corrente che giunge dal piede agisce nuovamente subito, e così di seguito durante tutto il tempo che vi si fa giungere l'aria. Da ciò risultano delle pulsazioni che si trasmettono all'aria nell'interno del tubo, e vi fanno nascere una serie di semi-onde sonore alternativamente condensate e rarefatte (140). Codeste onde sono tanto più rapide quanto più grande è la velocità della corrente, e quanto più il labbro superiore è vicino alla luce. Perchè il suono sia puro, v'ha un certo rapporto da stabilirsi tra le dimensioni delle labbra, l'apertura della bocca e la grandezza della luce. Finalmente il tubo deve avere una certa lunghezza rapporto al suo diametro.

Nella storta, l'imboccatura consiste in una semplice apertura laterale e circolare. Gli è per la disposizione che si dà alle labbra che la corrente d'aria s'infrange contro i margini di questa apertura. Lo stesso accade nella zampogna e in una chiave femmina colla quale si fischi.

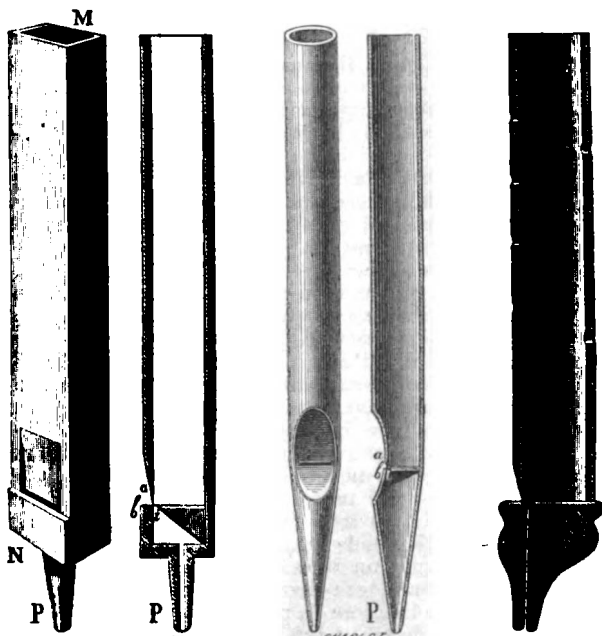



Fig. 152. Fig. 153. Fig. 154. Fig. 155. Fig. 156.

La figura 154 rappresenta l'imboccatura di un tubo cilindrico molto in uso nelle sonate d'organo, e la figura 155 ne mostra una sezione longitudinale. Le stesse lettere indicano gli stessi pezzi come nella figura 153. La figura 156 rappresenta l'imboccatura dello zuffolo e dello zuffolino, la quale è molto somigliante colle precedenti.

233. **Tubi a linguetta.** — In codesti tubi, la colonna d'aria è scossa mediante laminette metalliche che si chiamano *linguette*, e che si distinguono in *linguette battenti* e in *linguette libere*.

Linguetta battente. — Codesta linguetta si compone di un pezzo di legno o di metallo *a* (fig. 158), che si chiama il *canaletto*, e che è scavata in forma di cucchiaio nel senso di sua lunghezza. Essa è fissa ad una specie di turacciolo K forato, che fa comunicare la cavità del canaletto, con un lungo tubo T. Il canaletto è ricoperto da una lamina di ottone *l*, che si chiama la *linguetta*. Questa, nella sua posizione ordinaria, è leggermente allontanata dai margini del canaletto, ma essendo flessibilissima, essa può avvicinarsi loro facilmente e chiuderlo. Finalmente, un filo di ferro *br*, che si designa col nome di *molla*, si

applica, colla sua parte inferiore, che è ricurva, sulla linguetta, e regola il suo scostamento dal canaletto. Introducendo più o meno la molla si raccorcia o si allunga la porzione vibrante della linguetta, ciò che permette di aumentare o diminuire il numero delle sue vibrazioni.

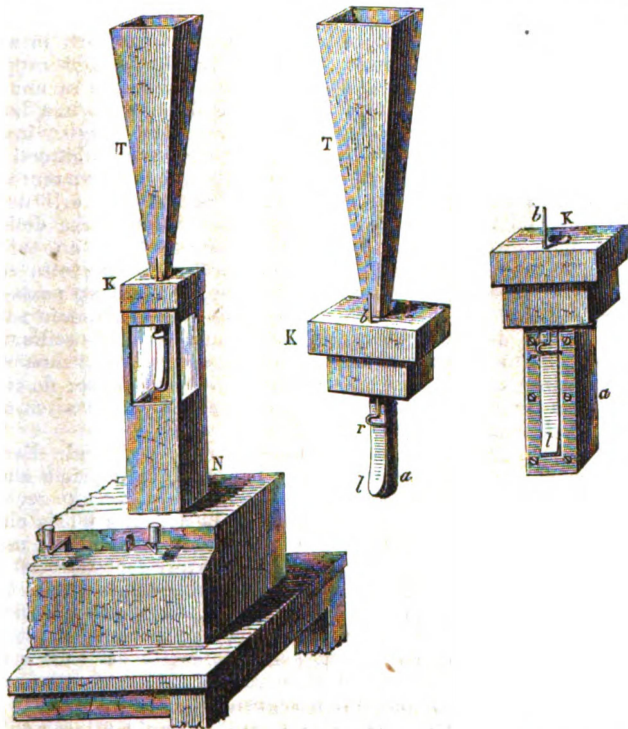



Fig. 157. Fig. 158. Fig. 159.

La linguetta è adattata in alto di un tubo rettangolare KN (fig. 157), che è il *porta-vento*. Questo tubo è chiuso da tutti i lati, eccettuato al suo piede, che si fissa sulla parte superiore di un mantice. Nei corsi di fisica, per lasciar scorgere le vibrazioni della linguetta, le pareti del porta-vento, nella parte che corrisponde alla linguetta, sono di vetro; questa disposizione è rappresentata dalla figura 157.

Quando si spinga dell'aria nel porta-vento, essa passa dapprima fra la linguetta e il canaletto per isfuggire dal tubo T; ma la velocità della corrente accelerandosi, la linguetta percuote contro i margini del canaletto, e chiudendolo essa completamente, la corrente più non passa. Ora, in virtù di sua elasticità, la linguetta ritorna al posto di prima; poi essa è trascinata di nuovo tosto che la corrente ripassa, e così di seguito, in modo che l'aria non passando che per intermittenze dal porta-

vento al tubo T, si produce in questo la stessa serie di pulsazioni che si producono nei tubi a bocca; donde risulta un suono tanto più alto quanto più rapida è la corrente.

Linguetta libera. — Grenié, nel 1810, ha inventato una specie di linguetta, che si chiama *linguetta libera*, perciò che la linguetta, invece di battere contro gli orli del canaletto, come nella linguetta descritta qui sopra, entra nel canaletto stesso radendone i suoi orli in modo da oscillare verso l'interno e verso l'esterno. La figura 159 rappresenta una linguetta di questa sorta. Qui il canaletto consiste in una piccola cassa di legno *a*, la cui parete anteriore è formata da una lamina di ottone. Nel mezzo di questa trovasi un'apertura longitudinale nell'interno della quale sta la linguetta *l* che può inflettersi liberamente avanti e indietro per dar libero passaggio alla corrente di aria che essa ferma ciascuna volta che essa va radendo gli orli della fenditura. Una molla *r* serve ancora a regolare la lunghezza della parte vibrante della linguetta. La linguetta essendo posta in un tubo KN, quando una corrente d'aria giunge in questo, la linguetta si trova compressa, si incurva dall'esterno all'interno, e dà libero passaggio all'aria che sfugge per il tubo T. Ma la linguetta ritornando su di sè stessa, in virtù della sua elasticità, forma una serie di oscillazioni che hanno per effetto di successivamente aprire e chiudere il canaletto, sicchè la corrente d'aria passi e s'arresti per intermittenze; da ciò risultano delle onde sonore, che producono un suono la cui altezza cresce colla velocità della corrente.

234. **Suoni armonici resi da uno stesso tubo.** — Daniele Bernouilli, celebre geometra di Groningue, morto nel 1782, fu il primo che abbia riconosciuto che uno stesso tubo sonoro può successivamente rendere dei suoni di più in più alti quando si rinforzi la corrente d'aria che lo fa *parlare*, ossia lo mette in azione. Per codesta esperienza si fa uso di un lungo tubo di vetro fissato ad una delle imboccature sopraddescritte (232), ma munito di una chiave che serve a regolare la corrente d'aria (fig. 162). Codesto tubo essendo fisso su di un mantice, dirigendo il soffio, gli si fa dapprima rendere il suono fondamentale, cioè il suono più grave. Poi, rinvigorendo il soffio coll'aprire di più il robinetto del tubo e col premere colla mano sull'asta T del mantice (fig. 144), si ottengono dei suoni di più in più alti nell'ordine seguente:

1.° Se il tubo è aperto alla sua estremità opposta all'imboccatura, e se si rappresenta con 1 il suono fondamentale, i suoni che lo seguono sono successivamente 2, 3, 4, 5, 6, 7,.... vale a dire successivamente tutti gli armonici del suono fondamentale (217).

2.° Se il tubo è chiuso all'estremità opposta all'imboccatura, esso non rende che i suoni 1, 3, 5, 7, 9,.... cioè soltanto gli armonici dei ranghi dispari.

In ambedue i casi, per qualunque tentativo si faccia, non si può far rendere a un dato tubo tutte le note della scala musicale, ma solamente gli armonici del suono fondamentale.

235. **Nodi e ventri delle vibrazioni nei tubi sonori.** — I rapporti dei suoni successivi resi da un dato tubo sonoro indicano che la colonna d'aria contenuta nel tubo si suddivide in parti aliquote di più in più corte, vibranti all'unisono. Infatti la teoria e l'esperienza mostrano che esistono nella colonna d'aria, a certe distanze, degli strati fissi che sono *nodi;* e che fra due nodi consecutivi si trova sempre una sezione

in cui l'aria raggiunge un maximum di vibrazione; è un *ventre*. Il carattere dei nodi, sta in ciò che l'aria non vi è in vibrazione, ma subisce delle variazioni continue di densità e di pressione; mentre il carattere dei ventri consiste in ciò che l'aria vi vibra continuamente senza mutare nè di densità nè di pressione.

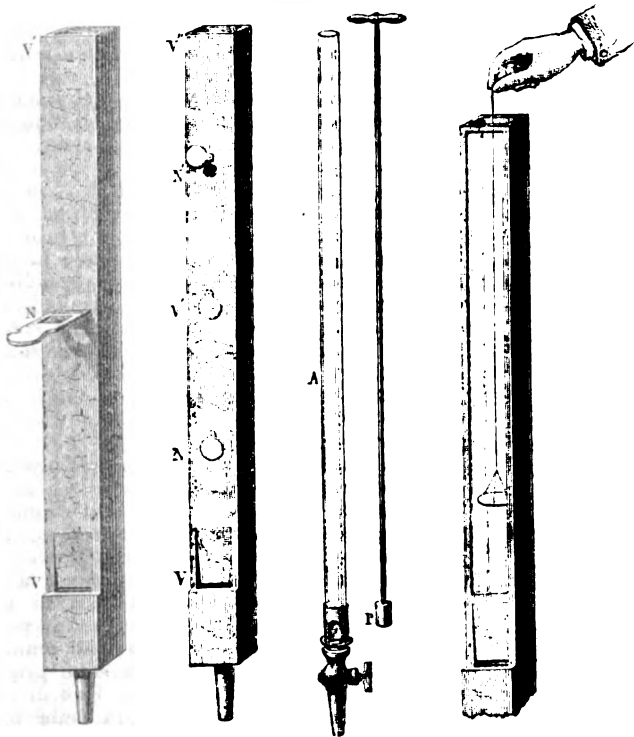



Fig. 160. Fig. 161. Fig. 162. Fig. 163.

Diverse esperienze servono a constatare l'esistenza dei nodi e dei ventri di vibrazione nei tubi sonori.

1.° Si incolla una membrana di minugia su di anello di cartone sostenuto con tre fili come un piatto di bilancia, poi, avendo sparso della sabbia sulla minugia, si cala lentamente il tutto nel tubo mentre esso rende il suono (fig. 163). Ora, di distanza in distanza, si osserva che i grani di sabbia non ricevono alcun movimento dalla minugia e rimangono immobili, là sonvi i nodi; mentre nelle posizioni intermedie, i grani di sabbia sono lanciati più o meno violentemente dalle vibrazioni che la membrana riceve dall'aria.

2.° Si constata ancora l'esistenza dei nodi e dei ventri, praticando nelle pareti di un tubo sonoro, dei fori che si possono turare e sturare

a volontà mediante otturatori mobili intorno ad un asse (fig. 161). La densità dell'aria, come si è detto di sopra, essendo costante e la stessa che è all'esterno nelle parti corrispondenti ai ventri, quando si apre un foro corrispondente a questi, il suono non prova alcuna modificazione. Invece, in corrispondenza dei nodi, in cui la densità dell'aria è variabile, allorchè si apre un foro, il suono è completamente cangiato; il che dipende da ciò che lo strato d'aria interna, trovandosi alla pressione atmosferica, prende una densità costante, per cui là dove si trovava un nodo, si forma un ventre.

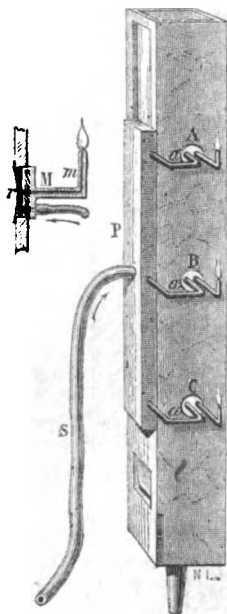



Fig. 164.

3.° Se si impegna lentamente nel tubo A (figura 162) uno stantuffo P fisso ad una lunga asta, il suono va elevandosi dapprima, ma, a misura che lo stantuffo discende, si scontrano una o più posizioni nelle quali il tubo rende esattamente lo stesso suono che prima dell'introduzione dello stantuffo. Ora, lo strato d'aria in contatto con quest'ultimo essendo in questo caso necessariamente immobile, bisogna che esso lo fosse anche prima, giacchè si intende lo stesso suono. Dunque tutte le posizioni dello stantuffo in cui si riproduce il suono primitivo sono dei nodi. Ma se si ferma lo stantuffo fra due nodi, il suono è mutato, ciò che prova che lo strato d'aria che è attualmente immobile non lo era prima.

4.° Finalmente, citeremo anche l'esperienza seguente che è nuova, e che noi abbiamo veduta per la prima volta presso il Kœnig costruttore di apparati acustici a Parigi. Su una delle pareti di un tubo rettangolare trovasi una cassa P, nella quale giunge del gas illuminante per mezzo di un tubo di caoutchouc S (fig. 164). Da codesta cassa partono tre tubi di caoutchouc *a*, *a*, *a*, che conducono il gas ad altrettante piccole camere praticate nella parete anteriore del tubo. Una di esse è rappresentata in M, alla sinistra della figura. È una cavità cilindrica, chiusa posteriormente da una membrana di minugia *r*, e anteriormente da un disco di legno portante due fori, per uno dei quali giunge il gas, e l'altro al quale è adattato un becco *m* dal quale il gas si svolge.

I tre becchi essendo accesi, se si fa rendere dapprima al tubo il suono fondamentale, i due becchi A e C bruciano con calma, mentre il becco B si spegne. Ora, vedremo (fig. 168) che in B v'ha un nodo, vale a dire uno strato che subisce continuamente delle variazioni di pressione e di densità; sono quest'ultime che, facendo vibrare la membrana *r*, sono causa dell'estinzione del becco.

Ma se si ricomincia l'esperienza soffiando tutto d'un tratto con forza per ottenere il suono 2, non è più il becco B che si spegne, ma i due becchi A e C. Infatti la colonna si divide come mostra la figura 169; vale a dire che in B trovasi un ventre, e in A e in C dei nodi.

In tutte queste esperienze, si constata che, in uno stesso tubo, aperto o chiuso, qualunque sia il numero dei nodi, essi sono sempre egualmente distanti fra loro, e che il mezzo fra due nodi è sempre un ventre.

236. **Disposizione dei nodi e dei ventri.** — *Tubi chiusi.* — In codesti tubi, ai quali gli organisti danno il nome di *bordoni*, il fondo opposto all'imboccatura è sempre un nodo, poichè lo strato d'aria in contatto con esso è necessariamente immobile e non subisce che delle variazioni di densità. Alla bocca, al contrario, in cui l'aria conserva una densità costante, quella dell'aria atmosferica, e in cui il movimento vibratorio è massimo, si trova sempre un ventre. In qualunque tubo chiuso, v'ha dunque almeno un nodo e un ventre (fig. 165); è in questo caso

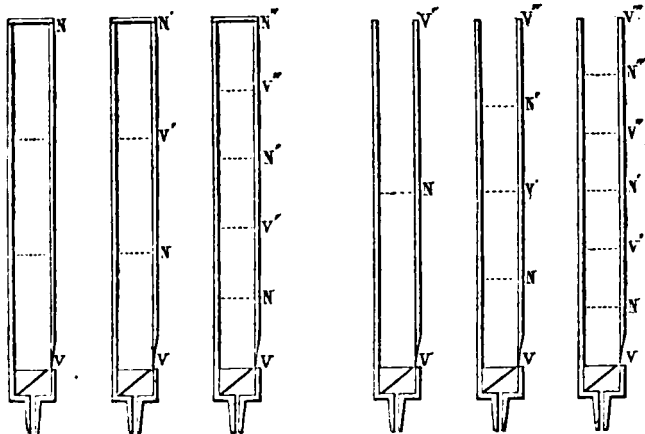



Fig. 165. Fig. 166. Fig. 167. Fig. 168. Fig. 169. Fig. 170.

che il tubo rende il suono fondamentale, e la distanza VN del ventre al nodo eguaglia una semionda condensata o rarefatta, o, ciò che vale lo stesso, eguaglia il quarto della lunghezza totale dell'ondulazione completa (197).

Se in codesto stato di cose si rinvigora il soffio, corrispondendo sempre alla bocca un ventre e al fondo un nodo, la colonna d'aria si suddivide in tre parti eguali (fig. 166), e si producono un nodo e un ventre intermediari. Ora, la distanza VN tra un nodo e un ventre consecutivi essendo sempre il quarto della lunghezza di ondulazione, quest'ultima è divenuta tre volte più piccola, e di conseguenza il numero di vibrazioni tre volte maggiore, giacchè, come si è veduto, il numero delle vibrazioni è in ragione inversa della lunghezza dell'onda (223). Di conseguenza se si rappresenta con 1 il suono fondamentale, si ha attualmente il suono 3. Il suono che viene in seguito corrisponde a due nodi e a due ventri intermedi (fig. 167). La distanza VN essendo cinque volte minore, si ha il suono 5, e così di seguito: ciò che mostra come i tubi chiusi rendono successivamente i suoni 1, 3, 5, 7,... come si è già constatato colla esperienza (234).

Tubi aperti alle due estremità. — In codesti tubi, gli strati d'aria alla bocca e alla estremità opposta conservando necessariamente una densità costante, quella dell'atmosfera, vi ha sempre un ventre a ciascuna estremità e almeno un nodo tra i due ventri (fig. 168). Si ha in questo caso il suono fondamentale, e la lunghezza dell'onda completa, che è sempre quattro volte la distanza di un nodo ad un ventre, è doppio della lunghezza del tubo.

Se si rinvigora il soffio, si producono due nodi e un ventre intermediario (fig. 169), e la lunghezza dell'onda essendo due volte minore, si ha il suono 2. Poi la colonna d'aria suddividendosi in tre nodi e due ventri intermedi (fig. 170), la lunghezza dell'onda è tre volte minore, da cui risulta il suono 3; e così di seguito. Da ciò si scorge come i tubi aperti rendano successivamente tutti i suoni 1, 2, 3, 4, 5...

237. **Origine dei nodi e dei ventri di vibrazione.** — Nei tubi chiusi, i nodi e i ventri di vibrazione hanno per causa la riflessione delle onde sonore sul fondo. Le onde riflesse incrociano allora le onde dirette senza alterarle; ma laddove le onde che si incontrano sono dello stesso senso, esse si sovrappongono per dare un massimo di vibrazione, vale a dire un ventre; oppure, se sono di senso contrario, nel qual caso si fanno equilibrio, esse danno luogo ad un nodo.

Fig. 171.

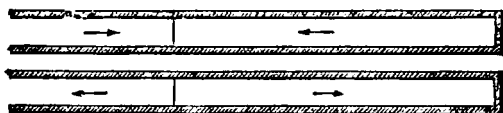



Fig. 172.

Nei tubi aperti, gli è contro la massa d'aria indefinita all'esterno che le onde sonore si riflettono.

Quanto alle variazioni di densità e di pressione che si producono ai nodi, esse risultano da condensazioni e da rarefazioni successive delle onde, in virtù delle quali gli strati d'aria si avvicinano e si allontanano alternativamente dai nodi. Se le onde si muovono le une verso le altre come mostrano le frecce nella fig. 171, v'ha condensazione; invece, quando le onde si allontanano (fig. 172), v'ha dilatazione: ma, nei due casi, le velocità essendo eguali e di segno contrario, lo strato di separazione, o il nodo, è sempre immobile.

238. **Formole dei tubi sonori.** — Da quanto precede, risulta che la colonna d'aria, nei tubi chiusi, è sempre divisa da nodi e da ventri di vibrazione in un numero impari di parti eguali tra loro e eguali al quarto della lunghezza dell'onda completa (figura 165, 166 e 167); e nei tubi aperti, in un numero pari (fig. 168, 169 e 170). Se dunque, si rappresenta la lunghezza del tubo con L, con l la lunghezza dell'onda completa, e con p un numero intero qualunque, in modo che $2p$ sia un numero pari, e $2p + 1$ un numero impari, si ha, per i tubi chiusi, $L = (2p + 1)\frac{l}{4}$ [1]; e per i tubi aperti, $L = 2p \times \frac{l}{4}$, o $L = p \times \frac{l}{4}$ [2].

Sostituendo nelle formole [1] e [2] ad l il suo valore $\frac{v}{n}$ cavato dalla equazione $v = ln$ (223), v essendo la velocità del suono nell'aria, ed n il numero di vibrazioni per secondo, si ha:

$$L = (2p + 1) \frac{v}{4n}, \text{ e } L = p \frac{v}{2n}.$$

Da cui si cava, pei tubi chiusi, $n = \frac{(2p+1)\,v}{4L}$ [3], e pei tubi aperti $n = \frac{pv}{2L}$ [4].

Ora, se nella formola [3], si dà a p successivamente i valori 0, 1, 2, 3,... si ottiene $n = \frac{v}{4L}$, $3.\frac{v}{4L}$, $5.\frac{v}{4L}$, $7.\frac{v}{4L}$.....; vale a dire che i tubi chiusi rendono il suono fondamentale $\frac{v}{4L}$, e tutti i suoni armonici di rango dispari; ciò che è conforme all'esperienza (234).

Egualmente se nella formola [4], si da a p i valori 1, 2, 3, 4, 5.. ..., si ottiene

$$n = \frac{v}{2L},\ 2.\frac{v}{2L},\ 3.\frac{v}{2L},\ 4.\frac{v}{2L},\ 5.\frac{v}{2L},....;$$

ciò che vuol dire che i tubi aperti rendono il suono fondamentale $\frac{v}{2L}$ e tutti i suoni armonici, tanto di rango pari che di rango dispari.

239. **Legge delle lunghezze.** — Le formole [3] e [4] mostrano che, nei tubi aperti, come nei tubi chiusi, *il numero di vibrazioni è in ragione inversa della lunghezza dei tubi.* Codesta legge, che è conosciuta sotto il nome di *legge delle lunghezze,* si verifica sperimentalmente facendo vibrare due tubi di egual specie, l'uno doppio dell'altro: si trova che il più corto dà l'ottava acuta del più lungo.

Finalmente, se si confronta il suono fondamentale di un tubo chiuso con quello di un tubo aperto di egual lunghezza, le formole [3] e [4], date qui sopra, fanno vedere che il numero delle vibrazioni del tubo aperto è doppio, e di conseguenza che *il suono fondamentale di un tubo aperto è all'ottava acuta di quello del tubo chiuso di egual lunghezza;* ciò che si può ancora esprimere, secondo la legge delle lunghezze, dicendo che *il suono fondamentale reso da un tubo chiuso è lo stesso di quello reso da un tubo aperto di lunghezza doppia.* Si verifica quest'ultima legge col mezzo di un tubo aperto alle due estremità, munito nel suo mezzo da un diaframma a corsoio, forato da un'apertura quadrata eguale alla sezione del tubo (fig. 160). Quando il diaframma è introdotto, il tubo è aperto in tutta la sua lunghezza; ma esso è chiuso nel suo mezzo quando il diaframma è nella posizione rappresentata dalla figura. In questo caso, si ha il suono fondamentale di un tubo chiuso di lunghezza VN. Poi quando il diaframma è rientrato, si ha il suono fondamentale di un tubo aperto di lunghezza doppio VV'. Ora, nei due casi, il suono è lo stesso.

240. **Leggi di Bernouilli.** — Riassumendo quanto è stato detto fin qui sui tubi sonori, si conchiudono le leggi seguenti, conosciute sotto il nome di *leggi di Bernouilli,* perchè egli fu il primo a stabilirle.

Leggi dei tubi chiusi. — 1.° Un tubo chiuso ad una estremità e munito di una imboccatura a bocca o a linguetta all'altra estremità, essendo fisso sulla tavola di una soffieria, *rende dei suoni di più in più alti a misura che si rinvigora il soffio; e se si rappresenta con* 1 *il suono più grave, ossia il suono fondamentale, si trova che il tubo rende*

successivamente i suoni 1, 3, 5, 7, 9,.... *rappresentati dalla serie dei numeri dispari.*

2.° Per tubi ineguali, i suoni dello stesso ordine corrispondono a dei numeri di vibrazioni che sono in ragione inversa delle lunghezze delle onde.

3.° Le vibrazioni dell'aria, nei tubi, sono longitudinali, e la colonna d'aria vibrante è divisa in parti eguali da nodi e da ventri, il fondo dei tubi essendo sempre un nodo e l'imboccatura un ventre.

4.° I nodi, o le superficie di separazione delle parti vibranti, sono immobili e non provano che mutamenti di densità, mentre i ventri o i mezzi delle parti vibranti, conservano la stessa densità, ma sono costantemente in vibrazione.

5.° Nel caso di un solo nodo, il tubo rende il suono fondamentale, e la lunghezza dell'onda completa eguaglia quattro volte quella del tubo.

Leggi dei tubi aperti. — Le leggi dei tubi aperti alle due estremità non differiscono dalle leggi precedenti se non se in quanto *i suoni resi da uno stesso tubo sono successivamente rappresentati dalla serie naturale dei numeri* 1, 2, 3, 4, 5, 6,..... e in quanto *alla estremità dei tubi corrispondono sempre dei ventri.*

Di più, *il suono fondamentale di un tubo aperto alle due estremità è sempre l'ottava acuta dello stesso suono in un tubo aperto ad una sola estremità. Finalmente, la lunghezza dell'onda eguaglia il doppio di quella del tubo.*

241. **Le leggi di Bernouilli non sono che approssimative.** — Le leggi di Bernouilli non si verificano rigorosamente coll'esperienza. Siano i tubi a bocca od a linguetta, si ottengono dei suoni più gravi che non siano indicati dalla teoria. Di più, la distanza del primo nodo dall'imboccatura è sempre minore della distanza teorica; al contrario, nei tubi chiusi, la distanza del fondo dal primo ventre è maggiore di quella indicata dalle leggi di Bernouilli.

Perchè codeste leggi s' accordassero colla esperienza, bisognerebbe che la sezione dei tubi fosse infinitamente piccola per riguardo alla loro lunghezza, e l'aria venisse posta in vibrazione direttamente su tutta la circonferenza del tubo, e non da un solo lato, come si fa abitualmente.

242. **Problemi sui tubi sonori.** — I. Un tubo aperto dà per terzo armonico re_3, quale è la lunghezza di questo tubo in metri, la temperatura dell'aria essendo di 10 gradi?

Si sa che la_3 corrisponde a 435 vibrazioni doppie per secondo (222), e che il rapporto di *do* a *la* è 1 a $\frac{5}{3}$; si ha dunque $do_3 \times \frac{5}{3} = 435$, da cui $do_3 = 261$. Conosciuto do_3, se ne deduce re_3 moltiplicando 261 per $\frac{9}{8}$, che rappresenta il numero relativo di vibrazioni di *re* per rapporto a *do* (218); dunque

$$re_3 = 261 \times \frac{9}{8} = 293\frac{5}{8}.$$

Ciò posto, si sa che nei tubi aperti si ha la relazione $n = p.\frac{v}{2L}$ (238), n essendo il numero delle onde sonore complete per secondo; v la velocità del suono nell'aria, la quale a 10 gradi è di 337 metri; L la lunghezza del tubo dalla bocca all'estremità, e p un numero intero qualunque.

Facendo $p = 4$ per avere il suono 4, o il terzo armonico, si ha

$$n = \frac{4v}{2L}, \text{ da cui } L = \frac{2v}{n} = \frac{2\,337}{293 \times \frac{5}{8}} = 2^{m}.29.$$

II. — Si domanda il rango nella scala musicale dell'armonico 5, quand'esso è reso, alla temperatura di 10 gradi, da un tubo chiuso di $3^{m},23$ di lunghezza?

La formola dei tubi chiusi essendo $L = (2p + 1)\frac{v}{4n}$ (238), ponendo in essa $p = 2$ per avere il suono del terzo rango, vale a dire l'armonico 5, si ottiene

$$L = \frac{5v}{4n}, \text{ da cui } n = \frac{5v}{4L} = \frac{5.337^{m}}{4.3^{m},23} = 130,4.$$

Ora, si è veduto che do_2 corrisponde a 130,5 vibrazioni complete (222), dunque l'armonico 5 del tubo dato è do_2.

III. — Un tubo aperto dà un suono di 100 vibrazioni per secondo, quando vi si soffi dell'aria a 10 gradi; quale dovrebbe essere la temperatura dell'aria introdotta perchè il suono reso sia la quinta maggiore del primo?

Si sa che il suono fondamentale essendo 1, la quinta maggiore è $\frac{3}{2}$ (216); vale a dire che i due suoni che danno la quinta stanno tra loro come 2 a 3. Per conseguenza il suono dato essendo 100, il suono cercato è 150.

Ciò posto, la formola dei tubi aperti essendo $L = p\frac{v}{2n}$ (238), se vi si fa $p = 1$, si trova, per il suono fondamentale, $L = \frac{v}{2n}$; da cui si deduce, per il primo suono, $L = \frac{v'}{200}$, e per il secondo, $L = \frac{v''}{300}$, v' essendo la velocità del suono a 10 gradi, e v'' la sua velocità a t^{o}. Da queste due equazioni si cava $\frac{v'}{200} = \frac{v''}{300}$. Ora si sa (202) che $v' = v\sqrt{1 + 10\alpha}$, e $v'' = v\sqrt{1 + \alpha t}$. Si ha dunque

$$\frac{v\sqrt{1 + 10\alpha}}{200} = \frac{v'\sqrt{1 + \alpha t}}{300}, \text{ o } \frac{1}{2}\sqrt{1 + 10\alpha} = \frac{1}{3}\sqrt{1 + \alpha t};$$

ed elevando al quadrato e riducendo, si ha finalmente

$$9\,(1 + 10\alpha) = 4\,(1 + \alpha t), \text{ o } 5 + 90\alpha = 4\,\alpha t;$$

risolvendo quest'ultima equazione riguardo a t, e rimpiazzando α col suo valore 0,00367 (290), si trova $t = 363^{o}$.

IV. — Un tubo aperto e un bordone (tubo chiuso) hanno una lunghezza comune di 2 metri; si domanda: 1.° qual è il rapporto musicale che esiste tra i secondi armonici di questi tubi; 2.° qual è il numero assoluto di vibrazioni che caratterizza l'uno o l'altro di questi tubi. — La temperatura è di 20 gradi, il coefficiente di dilatazione dell'aria 0,00367, e la velocità del suono nell'aria a zero 333 metri.

1.° Si sa che il suono fondamentale essendo 1, il tubo aperto rende gli armonici 2, 3, 4, 5, 6,. . . e il tubo chiuso gli armonici 3, 5, 7,.... (234). I secondi armonici che si confrontano sono dunque 3 e 5; ma siccome nei tubi aperti, un armonico qualunque è all'ottava acuta dell'armonico di egual rango nei tubi chiusi di egual lunghezza (240), i numeri relativi di vibrazioni dei due suoni che si confrontano non sono 3 e 5, ma 6 e 5; il loro rapporto è dunque $\frac{6}{5}$, vale a dire la terza minore (216).

2.° Per calcolare il numero assoluto di vibrazioni che caratterizza uno di questi due suoni, quello reso dal tubo aperto, per esempio, prendiamo la formola $n = p.\frac{v'}{2L}$, che

è quella dei tubi aperti, e nella quale v' rappresenta la velocità del suono nell'aria a t gradi.

Facendovi $p = 3$, per avere il secondo armonico, e $v' = v\sqrt{1 + \alpha t}$ (202), si ha $n = \frac{3v\sqrt{1 + \alpha t}}{2L}$; o rimpiazzando v, t, L coi valori dati nell' enunciato,

$$n = \frac{3\,333\sqrt{1 + 0{,}00367 \times 20}}{4} = 258{,}7.$$

Se si volesse calcolare il numero assoluto di vibrazioni del secondo suono, si prenderebbe la formola $n' = \frac{(2p + 1)\,v'}{4L}$; facendovi $p = 2$ per avere il secondo armonico si trova

$$n' = \frac{5v\sqrt{1 + \alpha t}}{4L} = \frac{5\,333\sqrt{1 + 0{,}00367 \times 20}}{8} = 215{,}6.$$

Se si prende il rapporto dei due numeri 258,7 e 215,6, si verifica che esso è appunto eguale a $\frac{6}{5}$.

CAPITOLO V.

VIBRAZIONI DELLE VERGHE, DELLE LAMINE, DELLE PIASTRE E DELLE MEMBRANE

243. Vibrazioni delle verghe e delle lamine. — Le verghe e le lamine sottili, di legno, di vetro, di metallo, e specialmente d'acciaio temperato, vibrano in virtù della loro elasticità, e presentano, come le corde, due sorta di vibrazioni, le une trasversali, le altre longitudinali. Si producono le prime fissando le verghe e le lamine per una estremità, e passando un archetto sulla loro parte libera. Si producono le vibrazioni longitudinali in una verga fissandola per uno de' suoi punti, e sfregandola, nel senso della sua lunghezza, con un pezzo di panno bagnato o intriso di colofonia in polvere. Tuttavia in quest'ultimo caso, non si ottiene suono se non se quando il punto per cui s'è fissata la verga si trova in corrispondenza della metà, del terzo, del quarto, in una parola ne segni una parte aliquota.

Si dimostra col calcolo, che *il numero di vibrazioni trasversali delle verghe e delle lamine di egual natura è in ragione diretta del loro spessore e in ragione inversa del quadrato dalla loro lunghezza.* La larghezza delle lamine non ha influenza sul numero delle vibrazioni che esse possono rendere; essa fa solamente variare la forza necessaria per scuoterle.

Nelle verghe elastiche della stessa natura, *il numero delle vibrazioni longitudinali è in ragione inversa della loro lunghezza, qualunque sia il loro diametro, e la forma della loro sezione trasversale.*

244. Vibrazioni delle piastre. — Quando si voglia mettere in vibrazione una piastra, la si fissa per il suo centro, come rappresenta la fig. 173, e la si scuote sfregando sui suoi orli un archetto; oppure la si fissa per qualche punto della sua superficie, e la si scuote al suo centro forato, a

questo scopo, con una apertura nella quale si determina uno sfregamento col mezzo di crini intrisi di colofonia (fig. 174).

Le piastre che si fanno vibrare presentano delle linee nodali (228) che variano per il loro numero e per la loro posizione, secondo la forma delle piastre, la loro elasticità, il modo di scotimento e il numero delle vibrazioni. Codeste linee nodali si rendono apparenti ricoprendo le piastre con un sottile strato di sabbia prima di farle vibrare. Non appena le vibrazioni cominciano, la sabbia abbandona le parti vibranti, per deporsi sulle linee nodali, come mostrano le figure 173 e 174.

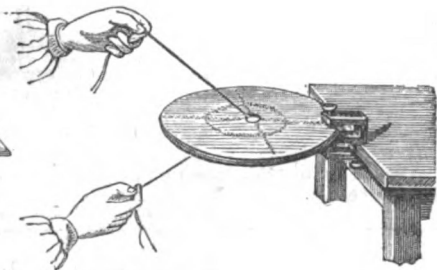



Fig. 173. Fig. 174.

La posizione delle linee nodali si determina, per così dire, a volontà, toccando le parti dove si desidera che esse si producano. Il numero di queste linee è in generale tanto più grande, quanto maggiore è il numero delle vibrazioni, vale a dire quanto più è acuto il suono reso dalle piastre. Le linee nodali presentano sempre una grande simmetria di forma, e per una stessa piastra scossa nelle stesse condizioni, esse si riproducono identicamente. Chladni fu il primo che abbia fatto conoscere il fenomeno delle linee nodali nelle piastre.

Le vibrazioni delle piastre sono soggette alle seguenti leggi: *Per piastre di egual natura, di egual forma, e che rendono le stesse figure, il numero delle vibrazioni è in ragione diretta degli spessori di queste piastre, e nella inversa delle loro superficie.*

245. **Vibrazioni delle membrane.** — Le membrane in dipendenza della loro flessibilità non possono vibrare, se non sono tese come la pelle di un tamburo. Esse rendono in tal caso un suono tanto più acuto, quanto più piccole sono le loro dimensioni, e quanto più fortemente sono stirate. Per ottenere delle membrane vibranti, Savart incollava su dei piccoli telai di legno della minugia flessibilissima.

Le membrane possono vibrare per percussione, come accade nel tamburo, o per influenza. Infatti, Savart ha osservato che una membrana può vibrare sotto l'influenza delle vibrazioni dell'aria, qualunque sia il numero di queste vibrazioni, purchè esse siano abbastanza intense. La

fig. 175 rappresenta una membrana vibrante sotto l'influenza delle vibrazioni che imprime all'aria una campana sonora. Della fina sabbia

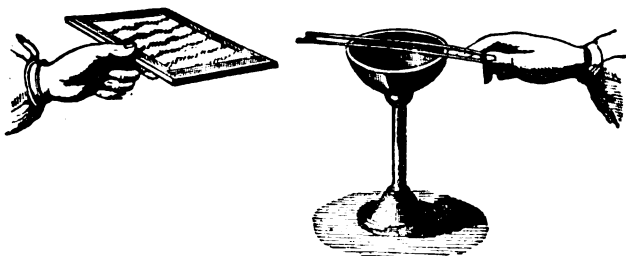



Fig. 175.

sparsa sulla membrana mostra la formazione dei nodi e dei ventri, come sulle piastre.

CAPITOLO VI.

METODI GRAFICI PER LO STUDIO DEI MOVIMENTI VIBRATORII

246. **Metodo del Lissajous per rendere le vibrazioni apparenti.** — Abbiamo veduto più sopra studiando le vibrazioni delle piastre e membrane come si renda apparente il loro movimento vibratorio cospargendole di sottile sabbia. Ora, il Lissajous ha recentemente adottato un metodo che, non solo rende visibile il movimento vibratorio dei corpi sonori, sia direttamente, sia mediante la proiezione su di un piano, ma permette anche di paragonare *senza il soccorso dell'orecchio* i movimenti vibratorii di due corpi sonori, in modo da poter conoscere il rapporto esatto delle vibrazioni che essi eseguiscono nello stesso tempo.

Questo metodo, fondato sulla persistenza delle sensazioni visuali sulla retina, consiste nel fissare sul corpo vibrante un piccolo specchio metallico che vibri con lui e imprima a un fascetto luminoso un movimento vibratorio simile a quello di cui è animato esso stesso.

Il Lissajous opera con dei corista, e per rendere visibile il movimento di questi apparecchi, applica ad una delle branche un piccolo specchio di metallo *m* (fig. 176) e all'altra branca un contrappeso *n*, ciò che è necessario onde il corista vibri lungamente e regolarmente. Ad alcuni metri dallo specchio avvi una lampada circondata da un caminetto opaco nel quale si è praticato un piccolo foro che appare come un semplice punto luminoso. Ciò posto, essendo il corista nello stato di riposo, si colloca l'occhio in modo da vedere l'immagine del punto luminoso in *o*. Facendo quindi vibrare il corista, vedesi tosto l'immagine allungarsi nel senso della lunghezza delle branche e dare una immagine persistente *oi*, che diminuisce di grandezza a norma che diminuisce l'ampiezza delle

oscillazioni. Se al movimento oscillatorio dello specchio si aggiunge un movimento di rotazione, facendo girare il corista attorno al suo asse in tal caso, invece di un'immagine rettilinea *io*, si ha un'immagine si nuosa *oix*. Questi diversi effetti si spiegano co' successivi spostament i

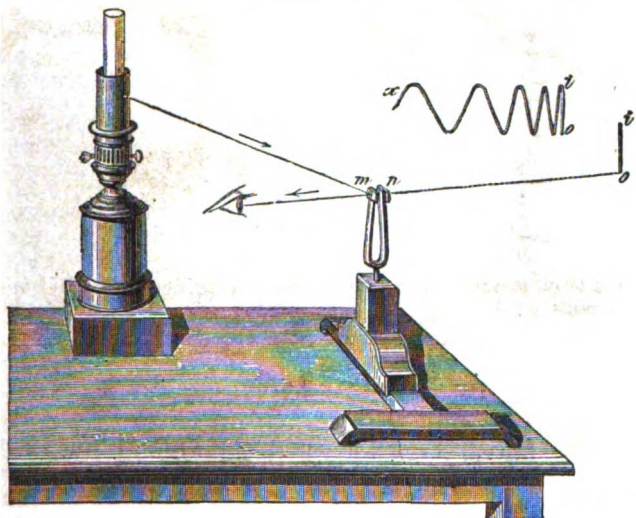



Fig. 176.

che imprimono al fascetto luminoso riflesso le vibrazioni dello specchio, e colla durata, nell'occhio, della sensazione luminosa dopo cessata la causa di essa, fenomeno sul quale ritorneremo trattando della visione.

Se invece di vedere direttamente gli effetti descritti, vogliasi renderli visibili per proiezione su di uno schermo, disponesi l'apparecchio come vedesi nella figura 177. Il fascetto riflesso sullo specchio vibrante riflettesi una seconda volta su di uno specchio fisso *m*, che lo rinvia verso una lente acromatica *l*, collocata in modo da formare nettamente su di uno schermo le stesse immagini che scorgonsi direttamente nell'esperienza della figura 179.

247. **Composizione ottica di due movimenti vibratorii della stessa direzione.** — Dopo essere giunto a rendere visibili le vibrazioni dei corpi sonori dando un vivo splendore ad uno dei punti del corpo vibrante, il Lissajous ha risolto inoltre il problema della composizione ottica di due movimenti vibratorii della stessa direzione dapprima e, in seguito, anche di direzioni rettangolari; e qui l'abile fisico giunse a fare coll'occhio gli studi acustici i più completi e i più scientifici.

Per comporre due movimenti vibratorii paralleli, l'esperienza è disposta come vedesi nella figura 178. Essendovi due corista muniti di specchi e disposti l'uno rimpetto all'altro, la luce riflessa su uno degli specchi rimbalza sull'altro, che è sensibilmente parallelo al primo, e da

quello è rimandata verso uno schermo, dopo avere attraversato una lente convergente.

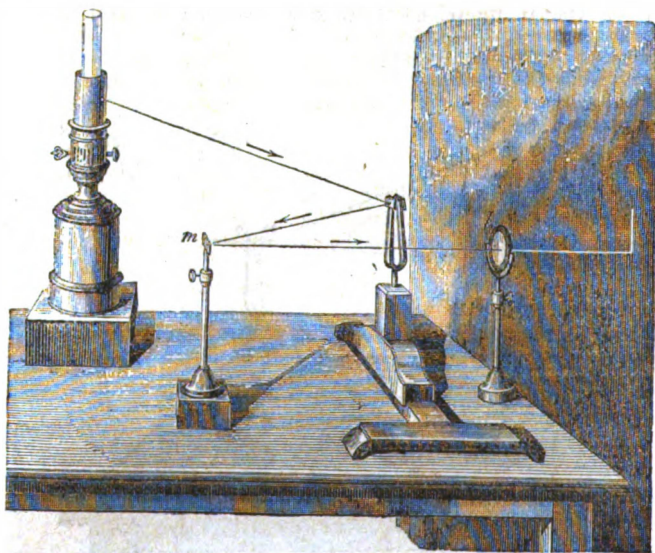



Fig. 177.

Ciò posto, non facendo vibrare dapprima che il primo corista, l'immagine si allunga, come si è di già veduto nell'esperienza della fig. 177; ma facendoli vibrare tutti e due, supponendoli perfettamente all'unisono, l'allungamento cresce o diminuisce, secondo che avvi concordanza

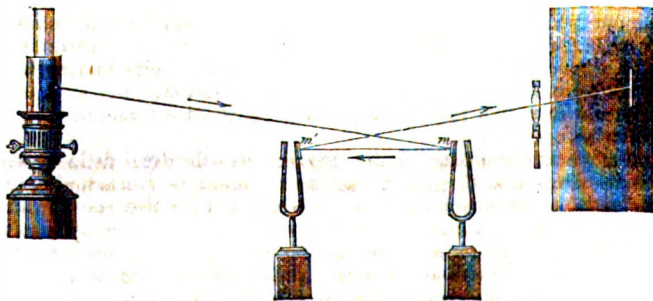



Fig. 178.

o discordanza fra i movimenti simultanei impressi all'immagine dalle vibrazioni degli specchi.

Se i due corista passano contemporaneamente e nello stesso senso per la loro forma d'equilibrio, l'immagine raggiunge il suo maximum di grandezza. Per lo contrario se essi vi passano nello stesso tempo, ma in senso contrario, vi ha il minimum. Fra questi due limiti l'ampiezza dell'immagine varia col tempo più o meno lungo che passa fra i momenti precisi in cui i due corista passano per la loro forma d'equilibrio. Il rapporto fra questo tempo e la durata di una vibrazione doppia fu indicato dal Lissajous colla denominazione di *differenza di fase.*

Quando i corista sono rigorosamente d'accordo, la traccia luminosa proiettata sullo schermo, non subisce che una diminuzione progressiva in lunghezza, a misura che l'ampiezza delle vibrazioni diminuisce; ma per poco che l'accordo sia alterato, la grandezza dell'immagine varia periodicamente, e mentre che l'orecchio sente i battimenti (215) che risultano dal difetto di accordo, l'occhio vede nettamente le pulsazioni concomitanti dell'immagine.

248. Composizione ottica di due movimenti vibratorii rettangolari. — La composizione ottica di due movimenti vibratorii rettangolari si opera come vedesi nella figura 179, vale a dire mediante due corista, l'uno orizzontale, l'altro verticale, e armati tutti e due di specchi come nelle esperienze precedenti. Se non si fa vibrare dapprima che il corista

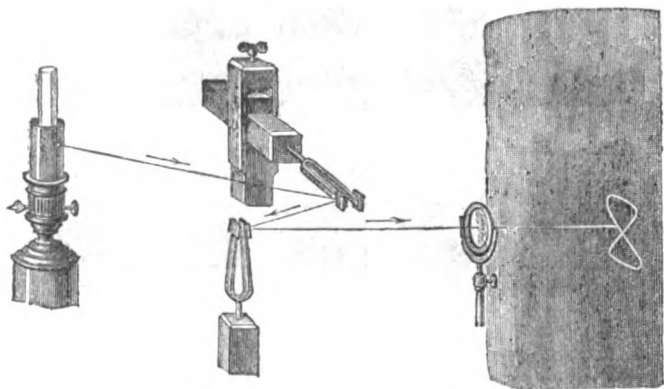



Fig. 179.

orizzontale, si vede formarsi sullo schermo una traccia luminosa orizzontale; se vibra solo il secondo corista, l'immagine è verticale. Ma se si fanno vibrare assieme i due corista, i due movimenti si combinano, e il fascetto riflesso descrive sullo schermo una curva più o meno complicata, la forma della quale dipende dal rapporto fra i numeri di vibrazioni eseguite nello stesso tempo dai due corista; ed è qui che si ottengono delle preziose indicazioni per confrontare i numeri di vibrazioni di due corpi sonori.

La figura 180 offre le diverse forme della proiezione luminosa sullo schermo, quando i due corista sono all'unisono, vale a dire quando i numeri delle loro vibrazioni stanno fra loro come 1 ad 1.

Fig. 180.

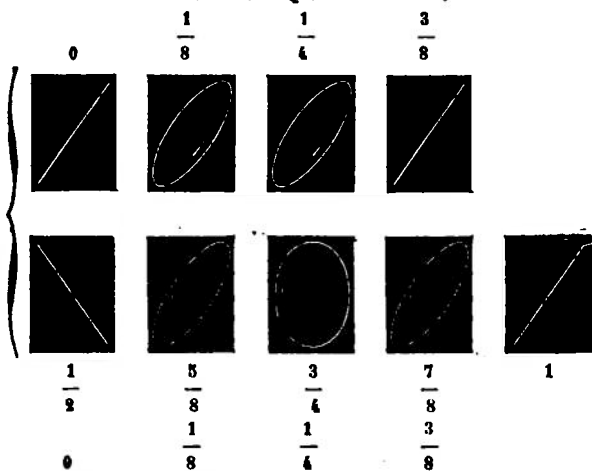



Fig. 181.

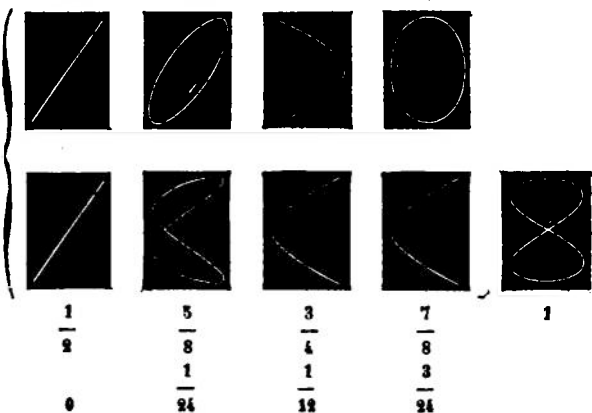
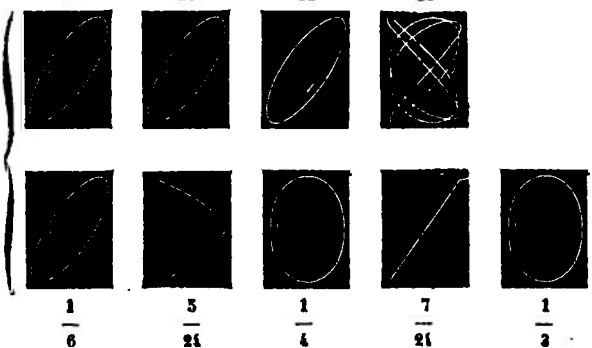



Fig. 182.

Le frazioni collocate sotto o sopra a ciascuna curva indicano le differenze di fasi corrispondenti ad ognuna di esse. È la differenza di fasi che determina la forma iniziale dalla curva; ma questa conserva esattamente la stessa forma quando i corista siano d'accordo, a condizione però che le ampiezze delle due vibrazioni rettangolari diminuiscano nello stesso rapporto.

Se i corista non sono perfettamente d'accordo, la differenza iniziale di fase non si mantiene, e la curva passa per tutte le sue varietà; essa sembra oscillare con tanta maggior rapidità quanto minore è l'accordo dei due corista.

La figura 181 rappresenta i diversi aspetti offerti dall'immagine luminosa quando i corista sono all'ottava, vale a dire quando i numeri delle loro vibrazioni stanno fra loro come 1 a 2; e la figura 182 dà la serie di curve che si ottengono quando i numeri di vibrazioni stanno fra loro come 3 a 4.

Rilevasi che le curve sono sempre più complicate a misura che i due termini del rapporto dei numeri di vibrazioni assumono un valore più elevato. Quanto all'esame teorico di queste curve e dei fenomeni che esse rappresentano, noi rimandiamo il lettore alla dotta memoria del Lissajous (*Annales de physique et de chimie*, 1857), dove troverà la traccia geometrica delle curve di vibrazioni e il calcolo della loro equazione generale.

Nelle diverse esperienze sopraddescritte, noi abbiamo supposto di prendere semplicemente per fonte di luce una lampada comune; adoperando la luce elettrica, quella per es. dell'apparecchio foto-elettrico di Duboscq, questi fenomeni prendono una chiarezza rimarchevole, e questo concorso prestato dalla luce ai fenomeni acustici, per disegnare in tratti di fuoco delle curve che caratterizzano sì bene le vibrazioni trasversali, longitudinali o giratorie, l'accordo, l'ottava, la terza, la quarta, la quinta, le dissonanze, i battimenti, i suoni risultanti, ecc., costituisce certamente una delle più belle esperienze di fisica.

249. **Fonautografo di Leone Scott.** — Nel metodo grafico di Duhamel (211) è il corpo sonoro che traccia direttamente le proprie vibrazioni: ma questo metodo non poteva dare le vibrazioni dei tubi sonori, del canto, o di un rumore qualunque, per es. quello del tuono o del cannone.

Leone Scott ha felicemente generalizzato e perfezionato il metodo grafico nell'apparecchio al quale ha dato il nome di *fonautografo*, per esprimere che i suoni s'imprimono da loro stessi. Quest'apparecchio costrutto da Rodolfo Kœnig, fabbricatore di istrumenti acustici a Parigi, componesi di un'elissoide cava AB (fig. 183), avente presso a poco 50 centimetri di lunghezza e 30 nel suo maggior diametro. Destinata a condurre e a concentrare le onde sonore, questa elissoide deve essere costrutta di una sostanza poco vibrante, perchè altrimenti ammorzerebbe di troppo il suono; egli è perciò che Kœnig la costrusse di gesso. L'estremità A è aperta, ma l'altra estremità è chiusa da un fondo solido, al centro del quale è adattato un tubo di rame *a*, fatto a gomito e terminato da un anello, sul quale è fissata una membrana flessibile d'intestino di bue o di caoutchouc sottilissima. Un secondo anello che si adatta più o meno al primo con vite, serve a stendere a volontà la membrana che, del resto, non vibra bene all'unisono che quando è semitesa. Si può girare il tubo *a* sovra sè stesso, in modo da far prendere

alla membrana qualunque inclinazione. Su questa membrana, presso il centro trovasi applicato con cera lacca uno stilo *o* leggerissimo che partecipa a tutti i movimenti della membrana. Affinchè lo stilo non corrisponda a un nodo di vibrazione, il Scott adatta, sull'anello tensore

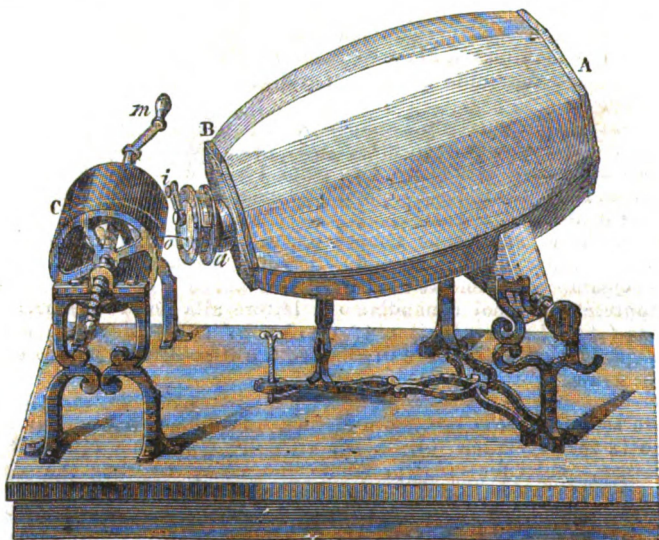



Fig. 183.

della membrana, un pezzo mobile *i* ch'egli chiama il *suddivisore*, e che toccandolo in tale o tal altro punto, a volontà dell'esperimentatore, modifica la posizione dei nodi, di modo che lo stilo corrisponda a un ventre, e per conseguenza vibri colla membrana. Così costrutto il fonautografo presenta una grande analogia coll'organo dell'udito. L'elissoide corrisponderebbe al meato uditorio, la membrana al timpano e il suddivisore agli ossicini dell'orecchio interno.

Ciò posto, ogni qual volta producesi un suono in vicinanza all'apparecchio, vibrando all'unisono l'aria contenuta nell'elissoide, la membrana e lo stilo, rimane a tracciare su di una superficie sensibile le vibrazioni dello stilo e a fissarle. Per ciò, davanti alla membrana si colloca un cilindro di rame C, girante attorno di un asse orizzontale mediante la manovella *m*; di più, durante la sua rotazione, il cilindro avanza nel senso del suo asse, essendo questo munito di una spirale che gira in una madrevite. La superficie del cilindro è ricoperta di carta, sulla quale si fa deporre un leggier strato di nero di fumo, movendovi sotto, mentre esso gira, una lampada nella quale abbruci un liquido fuligginoso.

Disposto così l'apparecchio mettesi la superficie preparata col nero di fumo in contatto collo stilo, e quindi si dà al cilindro un movimento di rotazione più o meno rapido. Finchè nessun suono si fa intendere, lo stilo resta in riposo, e col suo sfregamento non fa che levare il nero

di fumo e mettere a nudo la carta, tracciando un'elice regolare; ma appena producesi un suono qualunque, la membrana e lo stilo, vibrando all'unisono, la traccia segnata sul foglio di carta non è più rettilinea, ma ondulata, ed ogni ondulazione corrisponde ad una vibrazione doppia dello stilo; dimodochè le figure così ottenute marcano fedelmente il numero, l'ampiezza e l'isocronismo delle vibrazioni. Queste figure sono ampie quando il suono è intenso, microscopiche se è debolissimo, discoste quando è grave, avvicinate quando è acuto, di un disegno regolare e franco se il metallo (*timbre*) è puro, ineguali e per così dire serpentine se esso è cattivo o velato. Ma queste curve non danno la traccia semplice delle vibrazioni della membrana, sibbene danno esse piuttosto il movimento che risulta da quello della membrana e da quello che prende lo stilo nel senso laterale.

La figura 184 mostra la traccia d'un tono semplice cantato, rinforzato dalla sua ottava superiore, che è rappresentata dalla curva minore.

La figura 185 offre il suono di due tubi sonori all'ottava.

Fig. 184.

Fig. 185.

Fig. 186.

Fig. 187.

La figura 186, nella sua linea inferiore, rappresenta il suono della lettera R scilinguata, e la figura 187 pure nella sua linea inferiore, corrisponde al rumore che si produce picchiando col dito su di una lastra di latta.

In quanto poi alle linee superiori delle figure 186 e 187, esse sono identiche, e rappresentano le vibrazioni perfettamente isocrone tracciate da un corista collocato vicino all'elissoide. Questo corista, una branca del quale porta uno stilo leggerissimo, fa 500 vibrazioni doppie per secondo; di modo che ogni ondulazione della linea sinuosa superiore cor-

risponde a $\frac{1}{500}$ di secondo. D'onde rilevasi che la curva sinuosa tracciata dal corista diventa un cronometro che misura, con una grande precisione, degli intervalli di tempo estremamente piccoli come nell'apparato di Duhamel (211). Nella figura 186, per esempio, ognuno degli urti sonori isolati producenti colla loro unione il suono della lettera R scilinguata, corrisponde a 18 vibrazioni doppie del corista, ed ha per conseguenza una durata di $\frac{18}{500}$ di secondo, o di $\frac{1}{28}$ circa.

Tracciate che sieno le diverse curve, rimane a fissarle sulla carta preparata col nero-fumo. Per far ciò lo Scott immerge dapprima le sue prove in un bagno di alcool puro; poi, dopo averle fatte seccare, in un secondo bagno d'alcool contenente in soluzione una resina, per es., della sandracca. Il nero di fumo si fissa perfettamente.

LIBRO VI.

DEL CALORICO

CAPITOLO PRIMO

NOZIONI PRELIMINARI; TERMOMETRI

250. **Calorico, ipotesi sulla sua natura.** — Si dà il nome di *calorico* all'agente che fa nascere in noi la sensazione del calore. Ma questo agente opera anche sui corpi inerti; esso fa fondere il ghiaccio, bollire l'acqua, arroventare il ferro.

Numerose ipotesi furono emesse sulla causa del calorico. Solo due però sussistono ancora nella scienza: il *sistema dell'emissione* e quello delle *ondulazioni*.

Nel primo sistema si ammette che la causa del calorico sia un fluido materiale, imponderabile, che può passare da un corpo all'altro, e le di cui molecole sono in uno stato continuo di ripulsione. Questo fluido esisterebbe in tutti i corpi, accumulato intorno alle loro molecole, opponendosi al loro contatto immediato.

Nel sistema delle ondulazioni si ammette che il calorico sia dovuto ad un movimento vibratorio delle molecole dei corpi caldi, il qual movimento si trasmette alle molecole degli altri corpi per mezzo di un fluido eminentemente sottile ed elastico, chiamato *etere*, nel quale si propaga come le onde sonore nell'aria. I corpi più caldi allora sono quelli le cui vibrazioni hanno maggiore ampiezza e maggior rapidità, e l'intensità del calorico altro non sarebbe che la risultante delle vibrazioni delle molecole. Nella prima ipotesi, le molecole dei corpi che si raffreddano perdono del calorico; nella seconda, non perdono che moto.

Dietro i progressi della moderna fisica, la sola teoria delle ondulazioni sembra ammissibile. Tuttavia, siccome quella dell'emissione semplifica le dimostrazioni, in generale la si preferisce per ispiegare i fenomeni del calorico.

251. **Effetti generali del calorico.** — L'azione generale del calorico sopra i corpi è quella di sviluppare fra le loro molecole una forza ripulsiva che contrasta continuamente coll'azione molecolare; ne risulta che,

sotto l'influenza di questo agente, i corpi tendono dapprima a *dilatarsi*, vale a dire a prendere un volume maggiore, poi a *cambiar stato*, a passare cioè dallo stato solido allo stato liquido, o dallo stato liquido a quello di fluido aeriforme.

Tutti i corpi per effetto del calorico si dilatano. I più dilatabili sono i gas, poi i liquidi e quindi i solidi. In questi ultimi si distingue la dilatazione *lineare*, ossia secondo una sola dimensione, e la dilatazione *cubica*, ossia in volume. Tuttavia queste dilatazioni non vanno mai disgiunte l'una dall'altra. Nei liquidi e nei gas non si considerano che le dilatazioni in volume.

Per dimostrare la dilatazione lineare dei metalli, si fa uso dell'apparato rappresentato dalla figura 188. Un'asta metallica A è tenuta ferma

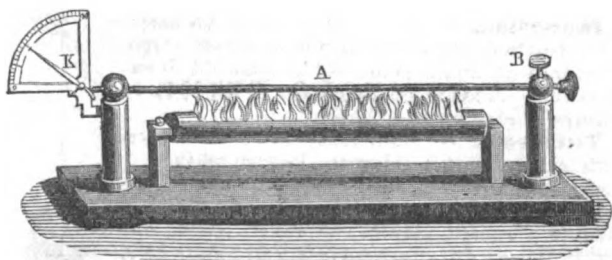



Fig. 188 (l. = 50).

all'una delle sue estremità mediante una vite di pressione B, mentre l'altra è libera ed in contatto col braccio più piccolo di un indice K, mobile su di un quadrante. Sottoposto all'asta evvi un serbatoio cilindrico, nel quale si abbrucia dell'alcool. L'indice K dapprima trovasi situato sullo zero del quadrante, ma a misura che l'asta A si riscalda, si vede l'indice ascendere, ciò che rende sensibile l'allungamento dell'asta.

La dilatazione cubica dei solidi si dimostra mediante l'*anello di s' Gravesande*. Chiamasi così un piccolo anello metallico *m* (fig. 189), entro il quale, alla temperatura ordinaria, passa liberamente una piccola sfera di ottone *a*, di un diametro uguale presso a poco a quello dell'anello. Ma allorquando questa sfera vien riscaldata alla fiamma di una lampada ad alcool, non può più passare attraverso all'anello, il che dimostra l'aumento di volume.

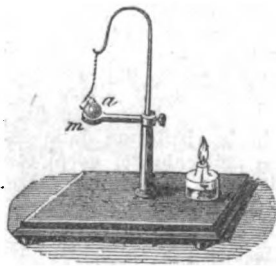



Fig. 189.

Per constatare la dilatazione dei liquidi, si salda ad un piccolo globo di vetro un tubo capillare (fig. 190). Riempito il globo ed una parte del tubo di un liquido qualunque, si osserva che appena venga riscaldato l'apparato, il liquido si eleva nel tubo, per es., di *a* in *b*, e la dilatazione così osservata è sempre maggiore di quella che si riscontra nei solidi.

Lo stesso apparato può servire a dimostrare la dilatazione dei gas. A tal uopo, si riempie il globo d'aria o di un altro gas qualunque, e si introduce nel tubo un indice di mercurio di uno a due centimetri di

lunghezza (fig. 191). Allorchè si riscalda il pallone, anche solo avvicinandovi la mano, l'indice vien spinto verso l'estremità del tubo, e finisce coll'esserne scacciato; da ciò si conchiude che i gas sono assai dilatabili, anche per un debole aumento di calorico.

In queste diverse esperienze, i corpi col raffreddarsi si contraggono, e riprendono esattamente il loro volume primitivo, quando il calorico è ritornato allo stesso grado.

MISURA DELLE TEMPERATURE

252. Temperatura. — La *temperatura* di un corpo è lo stato attuale di calorico sensibile in questo corpo, senza aumento nè diminuzione. Se la quantità di calorico sensibile aumenta o diminuisce, si dice che la temperatura si eleva o si abbassa.

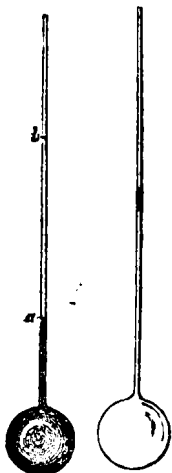
253. Termometri. — Chiamansi *termometri* certi strumenti che servono a misurare le temperature.

Fig. 190. Fig. 191.

Siccome l'imperfezione dei nostri sensi non ci permette di misurare la temperatura dei corpi dietro le sensazioni più o meno vive di caldo o di freddo che eccitano in noi, si dovette ricorrere agli effetti fisici che il calorico produce sui corpi. Questi effetti sono di varie sorta, ma si adottarono le dilatazioni e le contrazioni perchè più facile ad essere osservate. Il calore dà però origine nei corpi anche a fenomeni elettrici, mediante i quali si ponno misurare le temperature. Noi descriveremo in seguito un termometro assai sensibile fondato su questo principio.

I corpi di cui si utilizza la dilatazione nella costruzione dei termometri sono generalmente i liquidi; non i solidi perchè troppo poco dilatabili. Tuttavia, i fisici fanno uso anche della dilatazione dei gas in uno strumento conosciuto sotto il nome di *termometro ad aria*, che noi descriveremo dopo di aver fatta conoscere la dilatazione dei gas (294). Per ora non tratteremo che dei termometri a liquidi. Quelli fra questi corpi che a tale scopo sono esclusivamente adoperati sono il mercurio e l'alcool: il primo perchè fra tutti i liquidi è quello che si dilata più regolarmente, perchè non bolle che ad elevatissima temperatura, e finalmente per ragione che essendo miglior conduttore del calorico che non siano gli altri liquidi, un termometro costrutto con esso si mette più prontamente in equilibrio di temperatura coi corpi ambienti. Quanto al termometro ad alcool, il suo uso è fondato sulla proprietà di questo liquido di non congelarsi nemmeno esposto ai più grandi freddi conosciuti.

L'invenzione dei termometri data dalla fine del XVI secolo. Essa viene attribuita da alcuni a Galileo, da altri a Drebbel, medico olandese, od a Sartorio, medico veneziano.

Il termometro a mercurio è quello usato più comunemente. Esso si compone di un tubo capillare di vetro o di cristallo, saldato ad un serbatoio cilindrico o sferico della stessa materia. Il serbatoio ed una parte del tubo sono riempiti di mercurio, ed una scala graduata sul tubo stesso, o sopra un regolo a lui parallelo, fa conoscere la dilatazione del liquido (fig. 196).

Oltre la saldatura del tubo al serbatoio, la quale si fa mediante una lampada da smaltatore, la costruzione di un termometro comprende tre operazioni; la divisione del tubo in parti di ugual capacità, l'introduzione del mercurio nel serbatoio e la graduazione.

254. **Divisione del tubo in parti di ugual capacità.** — Siccome le indicazioni del termometro non sono esatte se non quando le divisioni della scala situata sul tubo corrispondono a dilatazioni uguali del mercurio che trovasi nel serbatoio, bisogna che la scala sia graduata in modo da indicare capacità uguali nell'interno del tubo. Se quest'ultimo fosse perfettamente cilindrico e di un diametro costante, basterebbe, per ottenere queste capacità uguali, dividere la lunghezza del tubo in parti uguali. Ma siccome il diametro dei tubi di vetro, in generale, è più grande ad una estremità che all'altra, ne risulta che uguali capacità del tubo sono rappresentate, sulla scala, da lunghezze disuguali. Sono queste che si tratta di determinare.

Per ciò, prima che il tubo sia saldato al serbatoio, vi si introduce una colonna di mercurio di 2 a 3 centimetri, che si ha cura di mantenere alla stessa temperatura, e che si fa scorrere nel tubo in modo che a ciascun spostamento la colonna si avanzi di una quantità uguale alla sua lunghezza; cioè, che l'una delle estremità della colonna venga a prendere successivamente il posto dell'altra. Un regolo diviso in millimetri sul quale, a ciascun spostamento, si applica il tubo, permette di valutare, a circa un decimo di millimetro, la lunghezza occupata dalla colonna di mercurio. Se questa lunghezza rimane invariabile, è segno che la capacità del tubo è dovunque la stessa; ma se varia, e va, per esempio, diminuendo, è segno che il diametro interno del tubo aumenta. Se in tal modo si scorge che la colonna di mercurio prova delle variazioni di lunghezza di più millimetri, si rigetta il tubo e se ne cerca uno più regolare. Ma se queste variazioni sono poco considerevoli, si fissa lungo il tubo una lista di carta, e si segna un tratto, colla matita, ad ogni punto successivamente occupato dalle estremità della colonna di mercurio.

Le divisioni, in tal modo formate, indicano necessariamente delle uguali capacità, perchè corrispondono ad un ugual volume di mercurio. Ora gli intervalli di queste divisioni, essendo abbastanza vicini perchè si possa riguardare il diametro del tubo come costante in ciascuna di esse, si passa a divisioni più piccole, ripartendo le prime in un certo numero di parti uguali; il che si ottiene mediante la vite micrometrica (13).

Vedremo tosto come, mediante queste divisioni, si ottiene una esatta graduazione della scala.

255. **Riempimento del termometro.** — Per introdurre il mercurio nel termometro, si salda all'estremità superiore del tubo un imbuto C (figura 192) che si riempie di mercurio; poi, inclinato un poco il tubo, si fa dilatare l'aria che trovasi nel serbatoio riscaldando quest'ultimo con una lampada ad alcool, o collocandolo sopra una grata inclinata e circondandolo di carboni ardenti. L'aria dilatata esce in parte dall'imbuto C. Se allora si lascia raffreddare il tubo e lo si tiene in una posizione verticale, l'aria che rimane si contrae, e la pressione atmosferica costringe il mercurio a passare nel serbatoio D, quantunque il tubo sia capillare. Ma il mercurio cessa ben tosto di penetrare nel serbatoio, il che avviene quando l'aria che ancora si trova, per la diminuzione di

volume, ha presa una tensione capace di far equilibrio al peso dell'atmosfera ed a quello della colonna di mercurio che trovasi nel tubo. Riscaldando allora di nuovo il serbatoio D e lasciandolo raffreddare, vi entra una nuova quantità di mercurio, e così di seguito fintanto che più non vi si trovi che un volume d'aria piccolissimo. Per discacciarvela si riscalda allora il serbatoio fino a che il mercurio che vi è penetrato entra in ebullizione. I vapori di mercurio, sprigionandosi, trascinano seco l'aria e l'umidità che ancor si trova nel tubo e nel serbatoio.

Fig. 192.

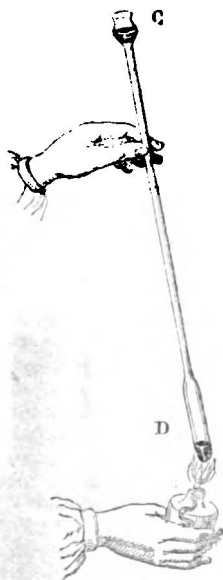
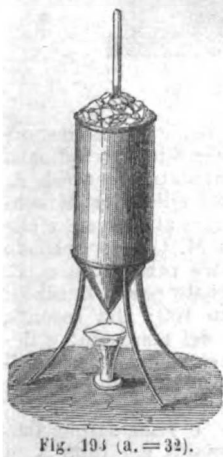
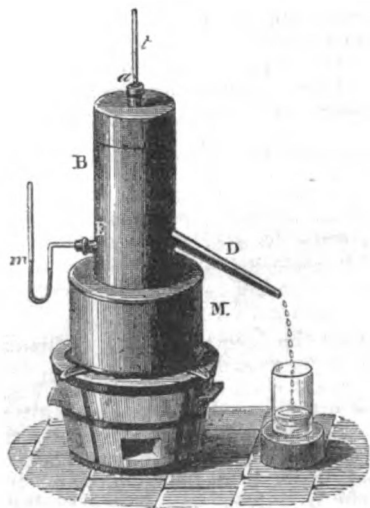
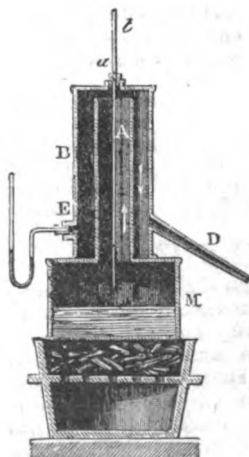
Allorchè lo strumento trovasi così riempito di mercurio secco e puro, si toglie l'imbuto C, quindi si chiude il tubo saldandone l'estremità alla lampada. Bisogna però aver cura di riscaldare dapprima il serbatoio D in modo da scacciare la metà o due terzi del mercurio che trovasi nel tubo, altrimenti non potrebbe dilatarsi senza spezzare il termometro. La quantità di mercurio che bisogna scacciare dal tubo è di tanto più grande quanto più elevate sono le temperature che lo strumento deve misurare. Bisogna aver cura inoltre di riscaldare il serbatoio D in modo che il liquido dilatato ascenda fino all'estremità del tubo al momento in cui lo si chiude. In tal modo, non rimane aria nel termometro, il che è necessario, altrimenti, l'aria compressa, quando il mercurio si innalza, potrebbe frangere il tubo.

256. **Graduazione del termometro, punti fissi di sua scala.** — Dopo aver riempito il termometro, nel modo che si disse, rimane a graduarlo, ossia a tracciare sul cannello una scala che permetta di valutare le variazioni di temperatura. Per far questo, si dovettero assumere sull'asta due punti fissi, che corrispondessero a temperature facili a riprodursi e sempre identiche.

Fig. 194 (a. = 32).

Ora, l'esperienza ha fatto conoscere che la temperatura della fusione del ghiaccio è sempre la stessa, qualunque sia la sorgente di calore, e che l'acqua distillata, sotto una stessa pressione ed in un vaso di una stessa materia, entra sempre in ebollizione alla stessa temperatura. Per conseguenza si prese per primo punto fisso, cioè per lo zero della scala, la temperatura della fusione del ghiaccio, e per secondo punto fisso, che si rappresenta con 100, la temperatura d'ebollizione dell'acqua distillata, in un vaso di metallo, sotto pressione atmosferica di $0^{m},76$.

La graduazione del termometro comprende adunque tre operazioni: la determinazione dello zero, quella del punto 100 e la divisione della scala.

257. **Determinazione dello zero.** — Per trovare lo zero, si riempie di ghiaccio frantumato, o di neve, un vaso nel di cui fondo è praticato un foro onde lasciar effluire l'acqua proveniente dalla fusione del ghiaccio (fig. 193). Si immerge il serbatoio del termometro e parte del cannello in questo ghiaccio, per circa un quarto d'ora. La colonna di mercurio si abbassa dapprima rapidamente, poi rimane stazionaria. Allora al punto che corrisponde col livello del mercurio si traccia un segno, colla matita, sopra una piccola lista di carta previamente fissata al tubo; questa è la posizione dello zero.

258. **Determinazione del punto 100.** — Il secondo punto fisso si determina mediante l'apparato rappresentato dalle figure 194 e 195, di

Fig. 194. Fig. 195.

cui la seconda ne rappresenta una sezione verticale, e la prima ne mostra l'insieme mentre funziona. In ambedue, le stesse lettere indicano gli stessi pezzi. Tutto l'apparato è in ottone. Una tubulatura centrale A, aperta alle sue due estremità, è fissa su di un vaso cilindrico M contenente acqua; una seconda tubulatura B concentrica alla prima e che la circonda interamente, è fissata sullo stesso vaso M. Questo secondo inviluppo, chiuso alle due estremità, è munito di tre tubulature *a*, E, D: nella prima avvi un turacciolo attraverso al quale passa il tubo *t* del termometro di cui si vuol determinare il punto 100; alla seconda è adattato un piccolo tubo di vetro *m* contenente del mercurio, e destinato a servire di manometro per misurare la tensione del vapore nell'interno dell'apparato; finalmente, la terza tubulatura D serve a lasciar sfuggire il vapore e l'acqua risultante dalla condensazione.

Ciò posto, collocato l'apparato su di un fornello, e riscaldatolo fino all'ebollizione, il vapore prodotto nel vaso M si innalza nel tubo A, e

si porta fra i due inviluppi, come lo mostrano le frecce, fino alla tubulatura D, da cui sfugge nell'atmosfera. In tal modo, trovandosi il termometro *t* interamente circondato dal vapore, il mercurio in esso contenuto si dilata, e finisce col divenir stazionario; allora si marca al punto *a*, ove ei si arresta, un segno che è il punto 100 cercato. Il secondo inviluppo B venne aggiunto, all'apparato da noi descritto, da Regnault, onde evitare il raffreddamento della tubulatura centrale pel suo contatto coll'aria.

La determinazione del punto 100 della scala termometrica sembra richieda che l'altezza del barometro durante l'esperienza sia $0^m,76$; perchè, vedremo in seguito, che se questa altezza è maggiore o minore di $0^m,76$, non solamente l'acqua entra in ebollizione ad una temperatura al di sopra o al di sotto dei 100 gradi, ma la stessa temperatura del vapore aumenta o diminuisce di una eguale quantità. Tuttavia, si può ottenere esattamente il punto 100, qualunque sia la pressione atmosferica, facendo la correzione seguente. Quando nel barometro il mercurio si innalza o si abbassa di 27 millimetri, la temperatura di ebollizione ascende o discende di un grado, vale a dire di $\frac{1}{27}$ di grado per millimetro; per conseguenza, se l'altezza del barometro è, per es., 766 mill., al momento in cui si prende il punto 100, l'eccesso di pressione al disopra di 760 essendo di 6 millimetri, il numero dei gradi corrispondente alla sommità della colonna mercuriale nel termometro non è 100, ma $100 + \frac{1}{27} \times 6 = 100 + \frac{2}{9}$.

Siccome Gay-Lussac aveva osservato che l'acqua entra in ebollizione ad una temperatura un po' più alta in un vaso di vetro che in un vaso di metallo, e di più che la temperatura d'ebollizione dell'acqua viene innalzata pei sali in essa disciolti, si era ammesso fino a questi ultimi tempi, che, per determinare il punto 100 dei termometri, bisognava far uso di un vaso di metallo e di acqua distillata. Ma dopo la scoperta di Rudberg, fisico svedese, si resero inutili queste due ultime condizioni. Questo scienziato riconobbe infatti che la natura del vaso ed i sali disciolti influiscono bensì sulla temperatura d'ebollizione dell'acqua, ma *non sulla temperatura del vapore che si produce.* Vale a dire che, sebbene l'acqua sia al disopra di 100 gradi, per una delle due cause sovraccennate, ciò nullostante il vapore che se ne sviluppa è a 100 gradi, se la pressione è di $0^m,76$.

Per conseguenza, per determinare il secondo punto fisso del termometro, non è necessario far uso di acqua distillata nè d'un vaso di metallo. Basta che, alla pressione di $0^m,76$ o facendo la correzione suindicata, il termometro sia interamente immerso nel vapore e non nell'acqua calda.

Del resto, anche facendo uso dell'acqua distillata, il serbatoio del termometro non deve essere immerso nell'acqua bollente, perchè non vi è che la sua superficie che sia realmente a 100 gradi; la temperatura crescendo di strato in istrato verso il fondo a motivo dell'aumento di pressione.

259. **Costruzione della scala.** — Si divide l'intervallo che separa i due punti fissi ottenuti in 100 parti di eguale capacità, che si dicono *gradi,* e si prolungano queste divisioni al di sopra di 100 e al disotto

di 0, segnandoli su di una tavoletta di legno, o su una piastrina di metallo alla quale il termometro è fissato, come lo mostra la figura 196.

Basterà, per tracciare i gradi, dividere l'intervallo fra zero e 100 in cento parti eguali, se il tubo del termometro abbia dovunque lo stesso diametro; ma siccome questa condizione non è mai rigorosamente soddisfatta, è necessario far uso delle divisioni in parti di egual capacità, già prima tracciate sul tubo (254). Perciò, si conta il numero di queste divisioni comprese fra i due punti fissi, e dividendo questo numero per 100 si ha il numero delle divisioni o la frazione di divisioni che equivale ad un grado; in seguito se ne deduce, partendo dallo zero, la posizione di ciascuna.

Fig. 196. Fig. 197.

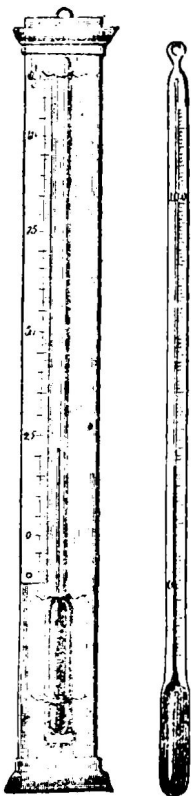
Pei termometri di precisione, la scala è graduata sul vetro stesso del tubo (fig. 197). Per tal modo non può spostarsi, e la sua lunghezza resta sensibilmente costante, perchè il vetro è assai poco dilatabile.

Per ottenere sul vetro dei segni permanenti, si ricopre, a caldo, il tubo del termometro con un leggero strato di vernice, poi con una punta d'acciaio si marcano sulla vernice i segni della scala, come pure le cifre corrispondenti: si espone finalmente il tubo, per dieci minuti circa, ai vapori dell'acido fluoridrico, che ha la proprietà di intaccare il vetro, e pel cui mezzo restan praticate le incisioni ovunque venne levata la vernice.

I gradi si indicano con un piccolo zero scritto a destra e un po' in alto del numero che segna la temperatura. Finalmente per distinguere le temperature al disotto di zero da quelle che sono al disopra, si fanno precedere dal segno — (*meno*); 15 gradi sotto zero si indicano dunque con — 15.°

260. **Differenti scale termometriche.** — Nella graduazione dei termometri si distinguono tre scale, cioè: la *scala centigrada*, la *scala di Réaumur* e la *scala di Fahrenheit.*

La scala centigrada è quella di cui abbiamo testè indicata la costruzione, e della quale si fa generalmente uso in Francia. Essa è dovuta a Celsio fisico svedese, morto nel 1744.

Nella seconda scala, adottata nel 1731 da Réaumur, fisico francese, i due punti fissi corrispondono ancora alla temperatura del ghiaccio fondentesi ed a quella dell'acqua bollente: ma l'intervallo fra questi due punti è diviso in 80 gradi. Il perchè 80 gradi di Réaumur equivalgono a 100 gradi centesimali; un grado R. eguaglia dunque $\frac{100}{80}$, ossia $\frac{5}{4}$ di grado c.; e reciprocamente 1 grado c. equivale a $\frac{80}{100}$ ossia $\frac{4}{5}$ di grado R. Per conseguenza onde ridurre un numero di gradi R. in gradi c, 20

gradi, per es., bisogna moltiplicare questo numero per $\frac{5}{4}$; poichè, siccome un grado R. equivale a $\frac{5}{4}$ di grado c., 20 gradi R. valgono in gradi c. 20 volte $\frac{5}{4}$ ossia 25. Similmente ragionando si vede, che per convertire i gradi c., in gradi R., bisogna moltiplicarli per $\frac{4}{5}$.

Fahrenheit, a Danzica, adottò nel 1714 una scala termometrica, l'uso della quale poscia si diffuse in Olanda, in Inghilterra e nell'America settentrionale. Il punto fisso superiore di questa scala corrisponde ancora alla temperatura dell'acqua bollente, ma lo zero corrisponde al grado di freddo, che si ottiene mescolando dei pesi eguali di sale ammoniaco triturato e di neve, e l'intervallo fra questi due punti fissi è diviso in 212 gradi. Il termometro di Fahrenheit, collocato nel ghiaccio fondentesi segna 32 gradi; perciò 100 gradi centesimali equivalgono in gradi F. a 212 meno 32, ossia a 180; dunque un grado c. vale $\frac{180}{100}$ ossia a $\frac{9}{5}$ di grado F., e reciprocamente un grado F. eguaglia $\frac{100}{180}$ ossia $\frac{5}{9}$ di grado c.

Ciò posto, debbasi ridurre in gradi c. un certo numero di gradi F., per es., 95. A tal uopo bisogna dapprima sottrarre 32 dal numero dato, onde contare le due specie di gradi partendo da uno stesso punto del tubo. Eseguendo la sottrazione indicata, si ha pel nostro caso 63; ora siccome un grado F. vale $\frac{5}{9}$ di grado c., 63 gradi F. valgono $\frac{5}{9} \times 63$, ossia 35 gradi c.

Rappresentando con t_f la temperatura data in gradi Fahrenheit, e con t_c la temperatura corrispondente in gradi centigradi, si ha la formola

$$t_c = (t_f - 32)\,\frac{5}{9} \quad [1],$$

che indica i calcoli da effettuarsi per operare la conversione; e siccome da questa proporzione si ricava

$$t_f = t_c \times \frac{9}{5} + 32 \quad [2],$$

si ha una seconda formola che serve a convertire i gradi centigradi in gradi Fahrenheit.

Queste formole sono generali e si applicano a tutte le temperature al di sopra o al di sotto degli zeri delle scale da paragonarsi; ma bisogna tener conto dei segni di t_f e t_c. Debbasi, p. es., trovar la temperatura in gradi centigradi quando il termometro Fahrenheit segna 5°; si ha, per la formola [1]: $t_c = (5 - 32)\,\frac{5}{9} = -\frac{27 \times 5}{9} = -15$.

Così pure, se il termometro centigrado marca -15, la formola [2] dà $t_f = -15 \times \frac{9}{5} + 32 = -27 + 32 = 5°$.

Se si trattasse di convertire dei gradi di Fahrenheit in gradi Réaumur, si troverebbe facilmente che l'equazione [1] data sopra prenderebbe la forma $t_r = (t_f - 32)\,\frac{4}{9}$ [3].

261. **Spostamento dello zero.** — Anche i termometri costrutti con somma cura, vanno soggetti ad una causa d'errore, di cui importa si tenga conto; ed è che col tempo lo zero tende ad innalzarsi, giungendo talñata lo spostamento fino ai due gradi; vale a dire che se s'immerge il termometro nel ghiaccio fondentesi, il mercurio non discende più allo zero della scala.

Varie spiegazioni si diedero di questo fenomeno, nessuna però del tutto soddisfacente. Lo si attribuì ad una diminuzione di volume del serbatoio, che risulterebbe dalla pressione esterna, essendosi praticato il vuoto nel termometro; ma si è osservato che in termometri contenenti aria, od aperti alla estremità dell'asta, lo zero si sposta come in quelli che sono vuoti.

Si disse pure che il vetro, dopo soffiata la bolla, non ritornava che lentamente al suo stato d'aggregazione primitiva, fondandosi su quanto si era creduto d'osservare, che cioè dopo due o tre anni, lo zero più non si spostava. Ora dietro le esperienze di Despretz, pare che questo spostamento continui per un tempo forse indefinito.

Oltre lo spostamento lento di cui dicemmo, si osservano delle variazioni rapide nella posizione dello zero, ogniqualvolta il termometro è stato portato ad una temperatura elevata. Infatti se lo si immerge allora nel ghiaccio fondentesi, il mercurio più non discende allo zero della scala, e non vi ritorna che dopo un certo tempo.

Adunque, quando si tratta di misurare con precisione una temperatura, è d'importanza verificare dapprima la posizione dello zero nel termometro di cui si vuol far uso.

262. **Limiti dell'uso del termometro a mercurio.** — Il mercurio bolle a 350 gradi e si solidifica a — 40. Sono dunque questi i limiti che non si può sorpassare nell'impiego del termometro a mercurio. Ma l'esperienza avendo insegnato che la dilatazione del mercurio non è *regolare*, cioè proporzionale all'intensità del calorico, che di — 36 a 100 gradi, e che al di là, il suo coefficiente di dilatazione va sempre crescendo da oltre 100 fino a 350 gradi, ne consegue che il termometro a mercurio non dà realmente delle indicazioni precise che di — 36 a 100 gradi; per le temperature più alte, le sue indicazioni non sono che approssimative, l'errore potendo giungere fino a molti gradi.

D'altronde accade sovente che due termometri a mercurio, d'accordo a zero e a 100 gradi, non lo sono più fra questi due punti, benchè posti nelle stesse condizioni. Ciò dipende da che i vetri, non avendo la stessa composizione chimica, non sono egualmente dilatabili. Di conseguenza, la dilatazione che si osserva nel termometro essendo *apparente* (281), vale a dire l'eccesso della dilatazione assoluta del mercurio su quella del vetro, tutte le volte che due termometri non sono formati da un vetro identico, si ha una causa di errore, la quale fa sì che non vadino d'accordo; il qual fatto si esprime dicendo che non sono *comparabili*.

Queste diverse osservazioni e quelle fatte nel paragrafo antecedente mostrano quante cause di errore si presentino nella determinazione delle temperature, e le cure che essa esige.

263. **Condizioni di sensibilità.** — Si può considerare la sensibilità di un termometro sotto due punti di vista. Infatti un termometro è *sensibile:* 1.° quando accusa delle piccolissime variazioni di temperatura; 2.° quando si dispone prontamente in equilibrio di temperatura coi corpi ambienti.

Si ottiene il primo genere di sensibilità dando al termometro un'asta capilarissima saldata ad un serbatoio un po' grande. Il movimento del mercurio è in tal caso limitato ad un piccolo numero di gradi, per esempio da 10 a 20, o da 20 a 30; e ciascun grado occupa una grande lunghezza sull'asta, ciò che porge il mezzo di valutare delle piccolissime frazioni di grado. Sotto il nome di *termometro metastatico* il Walferdin ha costruito un termometro che permette di apprezzare i millesimi di grado.

Il secondo genere di sensibilità si realizza dando al termometro un piccolissimo serbatoio, giacchè quanto minore è la massa di quest'ultimo, tanto più rapidamente il termometro assume la temperatura del mezzo nel quale si pone.

264. **Termometro ad alcool.** — Il *termometro ad alcool* differisce dal termometro a mercurio solamente perchè è pieno di alcool colorato in rosso con oricello. Ma siccome la dilatazione dei liquidi è tanto meno regolare quanto più vicini essi sono al loro punto d'ebollizione, l'alcool, che bolle a 78 gradi, si dilata assai irregolarmente tra zero e 100 gradi. Dimodochè, se dopo di aver preso i due punti fissi come pel termometro a mercurio, si dividesse il loro intervallo in 100 gradi, si avrebbe un termometro che sarebbe d'accordo col termometro a mercurio soltanto a zero ed a 100 gradi; tra questi due punti sarebbe indietro di parecchi gradi, anzi si trova che esso segna appena 44 gradi, quando il termometro a mercurio ne segna 50.

Egli è per questo che la graduazione del termometro ad alcool deve essere fatta comparativamente a quella di un termometro campione a mercurio, riscaldandoli insieme gradatamente in un bagno, e segnando successivamente, sul termometro ad alcool, le temperature indicate dal termometro a mercurio. Il termometro ad alcool, così graduato, è *comparabile* al termometro a mercurio, vale a dire segna le stesse temperature, quando è collocato nelle stesse condizioni. Il termometro ad alcool è specialmente adoperato per misurare le temperature molto basse, poichè questo liquido non si congela pei freddi più intensi che si conoscano.

Fig. 198.

Relativamente al riempimento del termometro ad alcool, in conseguenza della temperatura poco alta alla quale questo liquido entra in ebollizione, è più semplice di quello del termometro a mercurio. Infatti dopo di aver saldato leggermente il serbatoio alla lampada per far uscire un po' d'aria, si immerge la estremità aperta dell'asta nell'alcool colorato in rosso; per il raffreddamento l'aria che rimane nel serbatoio si contrae, e la pressione atmosferica vi fa ascendere una piccola quantità d'alcool (fig. 198). Scaldando allora fino alla ebollizione, i vapori d'alcool che si sviluppano con abbondanza trascinano tutta l'aria che si trova nel serbatoio e nell'asta. Basta

dunque, dopo alcuni istanti di ebollizione di capovolgere rapidamente il termometro e di immergerne di nuovo l'estremità nell'alcool. I vapori condensandosi, il vuoto si produce nell'interno e per effetto della pressione dell'atmosfera il serbatoio e l'asta si riempiono completamente. Facendo finalmente uscire una certa quantità di liquido dall'asta, si chiude questa fondendone l'estremità alla lampada, e il termometro è costrutto. Non rimane più che graduarlo come è stato detto di sopra.

265. **Termometro differenziale di Leslie.** — Leslie, fisico scozzese, morto nel 1832, costrusse un termometro ad aria destinato a far conoscere la differenza di temperatura di due luoghi vicini; da ciò deriva il nome di *termometro differenziale*. Questo termometro si compone di due bolle di vetro piene d'aria, ed unite da un tubo incurvato, di piccol diametro, fissato ad una tavoletta (fig. 199). Prima di chiudere l'apparato, vi si introduce un liquido colorato in quantità sufficiente per riempiere il ramo orizzontale del tubo, e la metà circa dei rami verticali. Convien scegliere un liquido che non dia vapori alle temperature ordinarie; perciò si fa uso in generale dell'acido solforico colorato in rosso. Chiuso poscia l'apparato, si fa passare dell'aria da una bolla nell'altra, riscaldandole inegualmente, finchè dopo alcuni tentativi, ritornate le due bolle alla stessa temperatura, sia eguale il livello nei due rami verticali. Si segna allora uno zero a ciascuna estremità della colonna liquida. Per compiere la graduazione, si fa in modo che la temperatura di una bolla superi di 10 gradi quella dell'altra. L'aria della prima si dilata e spinge la colonna liquida *ba* che si innalza nell'altro ramo. Quando questa colonna si rese di nuovo stazionaria, si segna 10, d'ambedue le parti, al punto in cui si ferma il livello del liquido; poscia si dividono gli intervalli da 0 a 10 in 10 parti eguali, e si continuano le divisioni al disopra, ed al disotto dello zero lunghesso ciascun ramo.

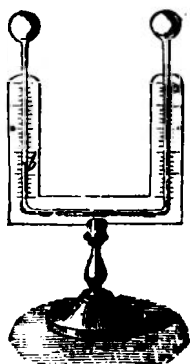



Fig. 199.

266. **Termoscopio di Rumford.** — Contemporaneamente all'invenzione del termometro differenziale di Leslie, il conte di Rumford, americano, morto ad Auteuil, vicino a Parigi, nel 1814, adottava un termometro analogo, che ha ricevuto il nome di *termoscopio di Rumford*. Questo istromento differisce poco dal precedente; solamente le bolle sono più grosse, il ramo orizzontale è più grande, e la graduazione è lungo questo ramo. L'indice E (fig. 200) ha soltanto due centimetri di lunghezza e si segna ancora uno zero a cia-

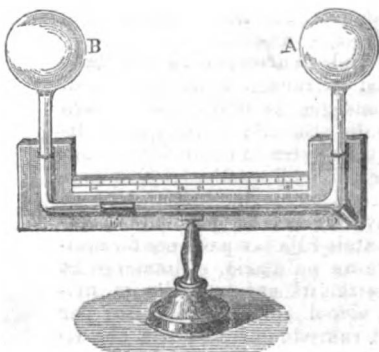



Fig. 200 (a. = 43).

scuna estremità, allorchè, essendo le due bolle alla stessa temperatura, l'indice occupa il mezzo del ramo orizzontale. Il resto della graduazione si eseguisce poscia interamente come pel termometro di Leslie. L'appendice D è destinata a regolare l'apparato; quando vi è tropp'aria in una delle bolle, si fa passare l'indice nell'appendice, e questo permette all'aria di recarsi nell'altra bolla. Quindi basta inclinare il termometro per far uscire l'indice e fargli prendere la posizione che deve occupare; locchè talvolta si ottiene soltanto dopo alcuni tentativi.

267. **Termometro metallico di Bréguet.** — Abramo Bréguet, oriuolaio di Parigi, morto nel 1823, immaginò un termometro fondato sull'ineguale dilatabilità dei metalli, e degno di rimarco per la sua estrema sensibilità. Questo istrumento è formato da tre lamine sovrapposte di platino, d'oro e d'argento. Saldate insieme in tutta la loro lunghezza, vengono dopo passate al laminatoio in modo da formare un nastro metallico oltremodo sottile. Si avvolge questo nastro a spira, come mostra la figura 201; avendo quindi fissata l'estremità superiore ad un sostegno, si sospende all'altra estremità un leggier indice di rame, che può liberamente moversi su un quadrante orizzontale, che porta una scala centigrada.

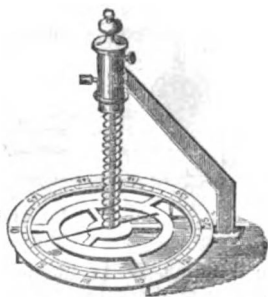



Fig. 201 (a. = 9).

L'argento, che fra i tre metalli è il più dilatabile, costituisce la faccia interna della spira; il platino, che è il meno dilatabile, è all'esterno, e l'oro framezzo. Quando la temperatura si eleva, siccome l'argento si dilata più del platino e dell'oro, la spira si svolge nella suaccennata figura da sinistra a destra. L'effetto contrario ha luogo quando la temperatura si abbassa. L'oro vien collocato tra gli altri due metalli, perchè ha una dilatazione intermedia a quelle dell'argento e del platino. Qualora si adoperassero solamente questi due ultimi metalli, la loro differenza di dilatazione potrebbe cagionare una rottura. Il termometro di Bréguet vien graduato confrontandolo con un termometro campione a mercurio.

268. **Termometro a massimo e a minimo di Rutherford.** — Nelle osservazioni meteorologiche è necessario conoscere la più alta temperatura del giorno e la più bassa temperatura della notte. I termometri ordinari potrebbero farci conoscere queste temperature solamente mediante un'osservazione continua, locchè sarebbe affatto impraticabile. Perciò si immaginarono molti istrumenti, che raggiungessero lo scopo. Il più semplice è quello di Rutherford. Sovra una lastra rettangolare (fig. 202) sono fissati due termometri, i tubi dei quali sono orizzontalmente incurvati. Il primo A è a mercurio; il secondo B è ad alcool. Nel termometro a mercurio avvi un piccolo cilindro di ferro A, che può scorrere liberamente nel tubo. Questo piccolo cilindro che serve d'indice, messo a contatto coll'estremità della colonna di mercurio, e disposto l'istrumento orizzontalmente, quando la temperatura si eleva,

vien spinto innanzi dal mercurio che si dilata. Appenachè il mercurio cessa di dilatarsi, esso si arresta, ed al medesimo punto del tubo rimane quando il mercurio si restringe, giacchè non v'è aderenza tra questo liquido ed il ferro. Adunque il punto, in cui si ferma l'indice, segna la più alta temperatura che ebbe luogo. Nel nostro disegno l'indice segna quasi 31 gradi.

Il termometro inferiore è a minimo; il liquido, che esso contiene, è alcool in cui è totalmente immerso un cilindretto di smalto B, che

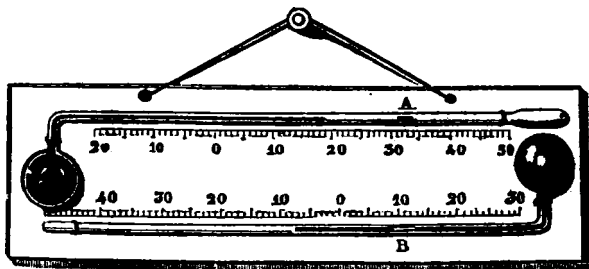



Fig. 202 (l. = 39).

serve d'indice. Se la temperatura si abbassa mentre il cilindro si trova all'estremità della colonna liquida, questa, contraendosi, lo trascina seco per un effetto d'adesione, e l'indice così si avanza fino al punto in cui avviene la massima contrazione del liquido. Quando la temperatura si eleva, l'alcool si dilata, passa tra la parete del tubo e l'indice senza che questo si sposti. Per conseguenza, l'estremità dell'indice opposta al serbatoio indica la più bassa temperatura a cui giunse l'istrumento: 9° $\frac{1}{2}$ al disotto di zero nel nostro disegno.

269. **Termometro a massimo di Walferdin.** — Il termometro a massimo di Walferdin è un termometro a ribocco. Esso ha la forma d'un termometro a mercurio ordinario. Soltanto alla parte superiore è terminato da un piccolo serbatoio o *ventre*, nel quale penetra il tubo, che finisce in punta affilata ed aperta (fig. 203). In questo ventre trovasi del mercurio destinato a *caricare* l'istrumento, vale a dire a riempiere completamente il tubo ad ogni osservazione. A tale intento si riscalda il serbatoio fintantochè il mercurio dilatandosi incominci a uscire per la punta affilata che termina il tubo. Capovolgendo allora l'istrumento, il mercurio che è nel ventre discende verso la punta, e questa vi si trova interamente immersa. Si lascia quindi lentamente raffreddare il termometro, avendo cura di tenerlo sempre capovolto. Pel raffreddamento il mercurio del serbatoio si contrae, una certa quantità passa per un effetto di coesione dal ventre nel tubo, e questo si trova completamente riempito.

Quando si deve adoperare questo istrumento, dapprima lo si carica ad una temperatura inferiore a quella che si tratta d'osservare, poi lo si colloca nel luogo del quale si vuol conoscere la massima temperatura. Se il termometro prima si raffredda, non avvi inconveniente alcuno, poi-

chè non entra nè esce mercurio. Ma se la temperatura si eleva, il mercurio si dilata una parte trabocca nel ventre senza poter rientrare nel termometro, poichè allora questo è nella posizione rappresentata dalla figura 203. Per determinare poscia la più alta temperatura alla quale è giunto l'istrumento, basta confrontarlo con un termometro campione, riscaldandoli ambedue gradatamente in un bagno, finchè il mercurio, nel termometro a ribocco, risale alla sommità del tubo ed è sul punto di uscirne. Consultando allora il termometro campione, la temperatura da esso indicata è quella più alta cui giunse il termometro a massimo.

Walferdin ha pure costrutto un termometro a minimo: anch'esso è a ribocco, ma è a due liquidi e d'un uso più difficile del precedente. Questi termometri sono specialmente adoperati per la determinazione delle più alte o delle più basse temperature del fondo dei laghi, dei mari o dei pozzi. Tuttavia bisogna allora rinchiuderli in un tubo di vetro, che si salda dopo alla lampada, onde sottrarli alla pressione esterna che diminuirebbe il volume del serbatoio, e ne farebbe uscire una quantità di mercurio maggiore di quella dovuta all'innalzamento di temperatura.

Fig. 203 (a = 26).

269[bis]. **Termometro a massimo di Negretti e Zambra.** — Il termometro a massimo di Rutherford venne ultimamente modificato con prospero successo da Negretti e Zambra. Questo termometro infatti presenta l'inconveniente di non essere portatile, e l'uso del medesimo richiede molta precauzione, imperciocchè se lo si capovolge troppo repentinamente, il piccolo indice di ferro s'impegna nel mercurio, e questo liquido, quando si dilata, più non ispinge innanzi l'indice, ma passa nell'intervallo esistente tra questo e il vetro. L'indice resta dunque completamente immobile, e il termometro cessa di funzionare.

Per ovviare a questo inconveniente Negretti e Zambra hanno modificato questo istrumento, come mostra la figura 203[bis]. Avendo introdotto nel tubo del termometro un piccolo indice di vetro *ad*, essi riscaldano alla lampada ed incurvano il tubo anche dove trovasi l'indice, in modo che questo sia fisso, ma non ostruisca però il tubo e non si opponga alla dilatazione del mercurio che è nel serbatoio.

Posto ciò, collocato il termometro orizzontalmente, come mostra la figura, quando la temperatura si eleva, il mercurio del serbatoio si dilata e passa tra l'indice e le pareti del tubo e si avanza, per es., fino in *c*; ma quando in seguito succede abbassamento di temperatura e contrazione del mercurio, siccome la resistenza che questo prova per passare di nuovo tra l'indice ed il tubo supera la coesione delle molecole di mercurio tra loro, la colonna *dc* non si sposta ed il vuoto si produce da *b* in *a*. Dunque in *c* si ha la massima temperatura a cui è giunto l'istrumento. Per dopo ricondurre il mercurio al disotto dell'indice, basta tenere un istante il tubo in posizione verticale, ed il mercurio passa in virtù del proprio peso.

Questo piccolo istrumento, che venne costrutto da Lerebours e Secretan, è assai portatile e d'uso molto più facile di quello di Rutherford. L'errore poi, che può risultare dal raffreddamento della co-

lonna di mercurio *cd* nel momento in cui si consulta il termometro, è affatto trascurabile, imperciocchè applicando le formole, che più tardi daremo sulle dilatazioni (277 e 282), si vedrà che per un raffreddamento di 25 gradi, quest'errore non può oltrepassare un decimo di grado.

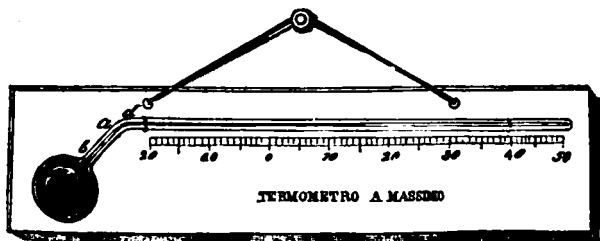



Fig. 203 *bis*.

270. **Pirometro di Wedgwood.** — Chiamansi *pirometri* alcuni istrumenti destinati a misurare le alte temperature, per le quali il termometro a mercurio non potrebbe essere adoperato, perchè questo liquido vaporizzerebbe ed il vetro si fonderebbe. Buoni pirometri non si hanno; tutti quelli che si costrussero finora non forniscono la misura esatta delle temperature.

Wedgwood, fabbricatore di stoviglie in Inghilterra, adottò un pirometro fondato sul ristringimento che prova l'argilla esposta all'azione del calore. Questo istrumento è formato d'una piastra di ottone sulla quale sono fissate tre spranghe dello stesso metallo (fig. 204), ciascuna

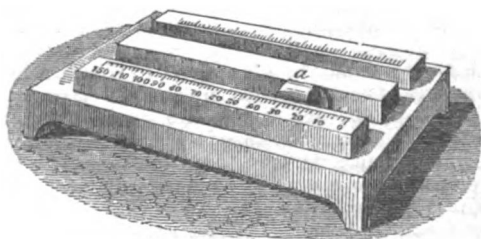



Fig. 204 (l. = 21).

delle quali è lunga un mezzo piede inglese. Le prime due, distanti in principio l'una dall'altra 6 linee inglesi, convergono d'una linea da una estremità all'altra. La seconda e la terza, la distanza delle quali fa seguito a quella delle due prime, convergono pure d'una linea. Cosicchè la lunghezza totale del *canale misuratore* è di un piede, e la convergenza da un capo all'altro di due linee.

Ciascun pollice del canale è diviso in 20 gradi, per cui la lunghezza totale in 240 gradi. Per usare di questo istrumento si pigliano dei piccoli cilindri d'argilla essiccati in una stufa a 100 gradi, e d'un tale diametro, che all'ordinaria temperatura entrino nel canale precisamente sino allo zero della scala. I cilindri, portati ad una temperatura ele-

vata in un forno, subiscono un ristringimento, che proviene da un principio di vetrificazione; raffreddati e messi nel canale, passano in causa del ristringimento al di là dello zero, ed il punto in cui si arrestano indica, in gradi di pirometro, la temperatura del forno, nel quale essi furono collocati. Nella figura 204 il cilindro *a* segna 32 gradi.

Wedgwood ha approssimativamente calcolato, ammettendo che lo zero del suo pirometro corrisponda già a 580 gradi centesimali, che ciascun grado di questo istrumento ne vale 72. Dunque per convertire in gradi centesimali una temperatura data in gradi di pirometro, bisogna moltiplicare questi per 72 ed al prodotto aggiungere 580. Ma, oltrechè queste valutazioni non sono precise, non potendo i cilindri essere tutti della stessa argilla, il loro ristringimento non è costante, e le loro indicazioni non sono comparabili.

271. **Pirometro di Brongniart.** — Brongniart aveva fatto costruire pei forni della fabbrica di Sèvres un pirometro che ha molto rapporto coll'apparato rappresentato dalla figura 188. Esso consiste in una sbarra di acciaio o di platino collocata in una scanalatura praticata in una piastra di porcellana. Da un capo la sbarra poggia sul fondo della scanalatura; dall'altro essa è in contatto con un'asta di porcellana che esce dal forno, in cui è collocato l'apparato. Finalmente, quest'asta si appoggia al braccio minore di un indice, il braccio maggiore del quale si muove su un arco di cerchio graduato; di mano in mano che la sbarra metallica, posta nel forno, si allunga per l'innalzamento di temperatura, essa spinge l'asta di porcellana e questa fa muovere l'indice. Questo pirometro, che anche vivo l'autore giaceva abbandonato a Sèvres, non può servire per la precisa determinazione delle temperature; tuttavia esso è più esatto di quello di Wedgwood.

272. **Termometrografo.** — I termometri a massimo e a minimo fanno ad ogni osservazione conoscere soltanto le temperature estreme, senza lasciar traccia delle temperature intermedie. Il termometro a spira di Bréguet (fig. 201) è stato modificato da Bréguet nipote in modo da indicare le temperature di ora in ora. Per ciò l'indice porta un piccolo stilo pieno d'inchiostro, e inferiormente avvi una piastra mobile, sulla quale sono tracciati 24 archi eguali ed equidistanti, muniti tutti d'una graduazione centigrada eguale a quella del quadrante del termometro. Ad ogni ora un movimento d'orologio fa avanzare la piastra d'una quantità eguale all'intervallo esistente fra i due archi, e nello stesso tempo dà un piccolo colpo sullo stilo dell'indice, che segna un punto nero sull'arco. Il numero dell'arco indica l'ora, e la posizione del punto nero fornisce la temperatura corrispondente.

CAPITOLO II.

DILATAZIONE DEI SOLIDI

273. **Dilatazione lineare e dilatazione cubica, coefficenti di dilatazione.** — Si è già veduto (251) distinguersi nei corpi solidi due sorta di dilatazioni, cioè: la *dilatazione lineare*, quella che avviene secondo una sola dimensione, e la *dilatazione cubica*, quella che ha luogo in volume.

Chiamasi *coefficente di dilatazione lineare* l'allungamento che subisce l'unità di lunghezza di un corpo, quando la sua temperatura s'innalza da zero ad 1 grado, e *coefficente di dilatazione cubica* l'aumento che subisce nello stesso caso l'unità di volume.

Questi coefficenti variano da un corpo all'altro; ma per un medesimo corpo esiste tra loro questa relazione semplice, che *il coefficente di dilatazione cubica è triplo del coefficente di dilatazione lineare*. Si può dunque, moltiplicando o dividendo per 3, trovare l'uno di questi coefficenti quando si conosca l'altro.

Per dimostrare che il coefficente di dilatazione cubica è triplo del coefficente di dilatazione lineare, abbiasi un cubo, il lato del quale a zero sia eguale ad 1. Se si rappresenta con k l'allungamento che subisce questo lato passando da zero ad 1 grado, la sua lunghezza ad 1 grado sarà $1 + k$, ed il volume del cubo, che a zero era 1, sarà attualmente $(1 + k)^3$, cioè $1 + 3k + 3k^2 + k^3$. Ora essendo sempre l'allungamento k una frazione piccolissima (pag. 215, tavola), il suo quadrato k^2 ed il suo cubo k^3 sono frazioni abbastanza piccole per non aver influenza nell'ultima cifra decimale dei numeri che rappresentano i coefficenti di dilatazione cubica. Si ponno dunque trascurare le quantità k^2, k^3, ed il volume ad 1 grado diventa assai approssimativamente $1 + 3k$. L'aumento di volume è adunque $3k$, cioè triplo del coefficente di dilatazione lineare.

Si potrebbe egualmente dimostrare che il coefficente di dilatazione superficiale è doppio del coefficente di dilatazione lineare.

274. **Misura dei coefficenti di dilatazione lineare, metodo di Lavoisier e Laplace.** — Molti sperimentatori si sono occupati di misurare i coefficenti di dilatazione lineare, e a tal uopo immaginarono diversi apparecchi. Noi descriveremo dapprima quello di cui si servirono Lavoisier e Laplace nel 1782.

L'apparecchio di questi due fisici, rappresentato in prospettiva nella figura 205, e in sezione nella figura 206, si compone di una vasca di

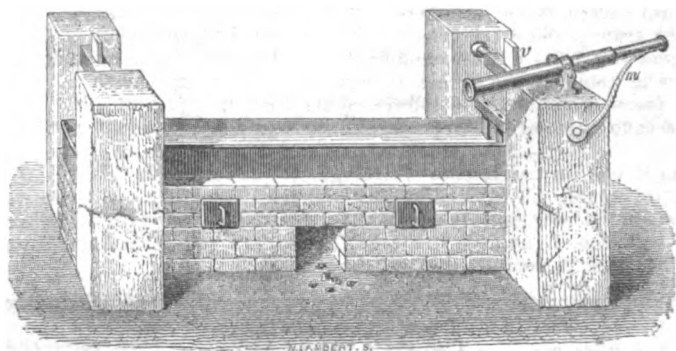



Fig. 205.

rame, collocata sopra un fornello tra quattro pilastri di pietra. Fra i due pilastri che occupano la dritta del disegno trovasi un asse orizzontale attraversato da un regolo di vetro v; alla estremità dello stesso asse è fissato un braccio m girante con lui, e destinato a dirigere un cannocchiale L mobile su due cardini. Agli altri due pilastrini sono fissate delle traverse di ferro che mantengono fisso un secondo regolo di ve-

tro *r*. Finalmente, nella vasca è un bagno di acqua o di olio, nel quale si dispone la sbarra *ac* di cui si cerca il coefficente di dilatazione.

Questa sbarra è in contatto con una estremità col regolo di vetro *r*, dall'altra col regolo *v*; da che risulta che essa non può allungarsi che

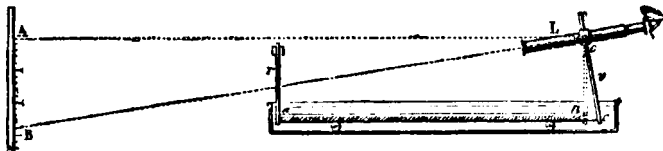



Fig. 206.

nel senso *ac*, giacchè il regolo *r* è invariabilmente legato alla costruzione. Di più, perchè possa dilatarsi facilmente, la sbarra poggia su due cilindri di vetro. Nel cannocchiale finalmente avvi un filo micrometrico orizzontale che, girando il cannocchiale sotto un dato angolo, percorre un numero di divisioni corrispondente sopra una scala verticale AB collocata a 200 metri di distanza.

Ciò posto, mettevasi dapprima del ghiaccio nella vasca, e trovandosi la sbarra alla temperatura di zero, si osservava a qual divisione corrispondeva il filo del cannocchiale sulla scala AB; si ritirava quindi il ghiaccio e si riempiva la vasca d'acqua o di olio, potendo quest'ultimo liquido essere portato ad una temperatura più elevata, e si riscaldava. La sbarra allora si dilatava, e quando la temperatura era diventata stazionaria, da una parte notavasi la temperatura del bagno mediante termometri che eranvi immersi, e dall'altra a qual divisione della scala corrispondeva il filo micrometrico del cannocchiale.

Da questi dati deducesi in seguito l'allungamento della sbarra. Diffatti, essendosi questa allungata di una quantità *nc*, il regolo vien respinto, e trascinando con sè il braccio *m* e il cannocchiale, l'asse ottico del cannocchiale è inclinato nella direzione *o*B. I due triangoli *onc* e *o*AB sono simili siccome aventi i lati rispettivamente perpendicolari, ciò che dà $\frac{nc}{AB} = \frac{on}{oA}$. Così pure rappresentando con *nc'* un altro allungamento, e AB' la deviazione corrispondente, si avrà ancora $\frac{nc'}{AB'} = \frac{on}{oA}$; ciò che dimostra che il rapporto dell'allungamento della sbarra colla deviazione del cannocchiale è costante, essendo il medesimo sempre uguale a $\frac{on}{oA}$. Ora con un'esperienza preliminare fatta con una seconda sbarra in lunghezza maggiore della prima di quantità nota, erasi constatato essere questo rapporto $\frac{1}{744}$. Ottenevasi dunque $\frac{nc}{AB} = \frac{1}{744}$, da cui $nc = \frac{AB}{744}$; vale a dire che l'allungamento totale della sbarra si otteneva dividendo per 744 la distanza percorsa sulla scala dal filo

micrometrico del cannocchiale. Una volta conosciuto questo allungamento, dividendolo per la lunghezza della sbarra a zero e per la temperatura del bagno, avevasi la dilatazione per una sola unità di lunghezza e per un solo grado, vale a dire il coefficente di dilatazione lineare.

275. **Metodo di Roy e Ramsden.** — Il maggiore Roy, nel 1787, fece uso dell'apparecchio rappresentato nella figura 207 per misurare i coefficenti di dilatazione lineare. Questo apparecchio, costrutto da Ramsden, componesi di tre vasche metalliche parallele, di due metri circa di lunghezza. In quella di mezzo trovasi, in forma di sbarra prismatica, il corpo di cui si cerca il coefficente di dilatazione; nelle altre due sonvi delle sbarre di ghisa esattamente della stessa lunghezza della prima.

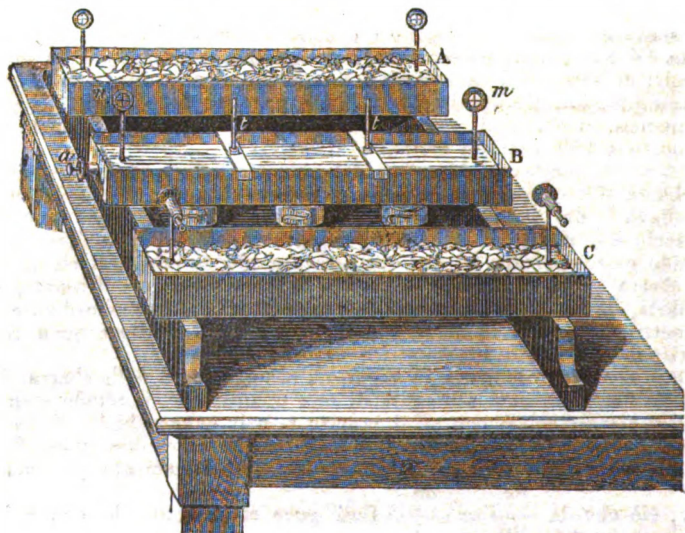



Fig. 207.

Queste tre sbarre sono munite alle loro estremità di aste verticali. Nelle vasche A e B, queste aste portano dei piccoli dischi forati da buchi circolari sui quali sono tesi in croce dei fili micrometrici, come le reticelle da cannocchiale (501); ma, nella vasca C, le aste portano dei tubi racchiudenti un oggettivo e un oculare da microscopio, muniti essi pure di reticelle.

Ciò posto, riempite essendo tutte le vasche di ghiaccio, e le tre sbarre essendo a zero, i punti d'incrociamento dei fili sui dischi e nei tubi sono esattamente in linea retta ad ogni estremità. Ritirasi allora il ghiaccio soltanto dalla vasca centrale, e vi si versa dell'acqua che portasi a 100 gradi, mediante lampade ad alcool, collocate sotto alla vasca; la sbarra che trovasi in essa allora si dilata; ma siccome si ha cura di metterle a contatto coll'estremità di una vite *a* fissata alla parete, tutto l'al-

lungamento producesi nel senso *nm*, e la reticella *n* restando in linea, la sola reticella *m* è deviata verso B di una quantità precisamente eguale all'allungamento. Ora, la vite *a* è unita alla sbarra, e, girandola lentamente da dritta a sinistra, riconducesi la sbarra nel senso *mn*, e la reticella *m* finisce a trovarsi nuovamente in linea. A questo istante la vite procedente di una lunghezza precisamente eguale all'allungamento della sbarra, e siccome la lunghezza di cui si è avanzata la vite deducesi con grande precisione dal numero dei giri che essa ha fatti e del suo *passo*, si ha così la dilatazione totale della sbarra, da cui in seguito deducesi il suo coefficente di dilatazione dividendola per la temperatura del bagno e per la lunghezza della sbarra a zero.

Coefficenti di dilatazione lineare tra zero e 100 *gradi dei corpi maggiormente adoperati nelle arti.*

Vetro bianco	0.000008613	Rame	0.000017182
Platino	0.000008842	Bronzo	0 000018167
Acciaio non temprato	0,000010788	Ottone	0,000018782
Ferraccio	0,000011250	Argento di copella	0,000019097
Ferro dolce lavorato al martello	0.000012204	Stagno	0,000021730
Acciaio temperato	0 000012395	Piombo	0,000028575
Oro di spartimento	0,000014660	Zinco	0,000029417

Quanto alla determinazione dei coefficenti di dilatazione cubica, dietro la relazione che si è veduta sussistere tra essi e i coefficenti di dilatazione lineare (273), si deducono immediatamente dai numeri dati qui sopra, moltiplicandoli per 3. Tuttavia, trattando fra poco del *termometro a peso*, noi faremo conoscere un metodo, impiegato da Dulong e Petit, per determinare direttamente i coefficenti di dilatazione cubica.

276. **I coefficenti di dilatazione aumentano colla temperatura.** — La esperienza dimostra che i coefficenti di dilatazione lineare dei metalli sono sensibilmente costanti fra zero e 100 gradi, vale a dire che, per uno stesso numero di gradi, si può ammettere senza errore sensibile che la lunghezza aumenti costantemente della stessa frazione di ciò che essa era a zero. Ma secondo le ricerche di Dulong e Petit, il coefficente diventa più grande fra 100 e 200 gradi, e cresce ancora fra 200 gradi e 300, e così di seguito fino al punto di fusione. L'acciaio temperato fa eccezione; il suo coefficente diminuisce quando la temperatura oltrepassa un certo limite.

277. **Formole relative alla dilatazione dei solidi.** — Siano l la lunghezza di una sbarra a zero, l' la sua lunghezza alla temperatura t, e k il suo coefficente di dilatazione lineare. La relazione esistente fra queste diverse quantità viene espressa dalle seguenti formole.

L'allungamento corrispondente a t gradi è t volte k ossia kt, per una sola unità di lunghezza; laonde è l volte kt per l unità. La lunghezza della sbarra, che era l a zero, è dunque $l + ktl$ a t gradi; d'onde

$$l' = l + ktl \quad [1].$$

Raccogliendo il fattor comune l nel secondo membro, si trae da questa formola

$$l' = l\,(1 + kt) \quad [2].$$

La formola [2] serve a trovare la lunghezza l' a t^0 gradi, quando si conosca la lunghezza l a zero. Dividendo i due membri per $(1 + kt)$, si ottiene

$$l = \frac{l'}{1 + kt} \quad [3].$$

Quest'ultima formola serve a trovare la lunghezza a zero, quando si conosca la lunghezza l' a t.

Finalmente se nell'equazione [1] si trasporta l nel primo membro, e si dividono amendue i membri per tl, si ha

$$k = \frac{l' - l}{tl} \quad [4].$$

Quest'ultima equazione serve a calcolare il coefficente di dilatazione k.

Se invece di considerare le dilatazioni lineari, si considerano le dilatazioni cubiche, si trovano delle formole analoghe a quelle testè esposte. A tale intento, sieno V il volume d'un corpo a zero, V' il suo volume a t gradi, e D il suo coefficente di dilatazione cubica, che, come si sa (273), è triplo di k; ragionando come poc'anzi, si trova

$$V' = V\,(1 + Dt) \quad [5], \quad V = \frac{V'}{1 + Dt} \quad [6],$$

formole che servono a passare dal volume a zero al volume a t gradi, e reciprocamente. Si può anche scriverle sotto la formola

$$V' = V\,(1 + 3kt), \text{ e } V = \frac{V'}{1 + 3kt},$$

sostituendo $3k$ a D (273).

I binomii $1 + kt$, e $1 + Dt$ si designano sotto i nomi, l'uno di *binomio di dilatazione lineare*, e l'altro di *binomio di dilatazione cubica*. Le formole [2] e [5] mostrano che le lunghezze e i volumi a t gradi sono direttamente proporzionali ai binomii di dilatazione.

278. **Problema sulle dilatazioni** — I. Quale sarà la lunghezza a 80 gradi di una sbarra di ferro, che a zero è lunga $2^m,6$, essendo il coefficente di dilatazione del ferro 0,0000122?

Questo problema si risolve colla formola superiore [2], facendovi

$$l = 2^m,6, \; t = 80, \; k = 0,0000122.$$

Pel che abbiamo

$$l' = 2^m,6\,(1 + 0,0000122 \times 80) = 2^m,6 \times 1,000976 = 2^m,6025.$$

Laonde la lunghezza cercata è $2^m,6025$; epperò l'allungamento avvenuto è di 2 millimetri e mezzo.

II. A 90 gradi una sbarra di rame è lunga $3^m,4$, quale sarà la sua lunghezza a zero, essendo 0,0000172 il coefficente di dilatazione del rame?

In questo caso bisogna far uso della formola [3] del paragrafo precedente, ponendo in essa $l' = 3^m,4$, $t = 90$, $k = 0,0000172$; onde abbiamo

$$l' = \frac{3,4}{1 + 0,0000172 \times 90} = \frac{3,4}{1,001548} = 3^m,395$$

III. Una sbarra metallica ha una lunghezza l' a t gradi, quale sarà la sua lunghezza L a t' gradi?

Questo problema si risolve cercando la lunghezza della sbarra a zero, che giusta la formola [3] è $\frac{l'}{1 + kt}$; poi dalla lunghezza a zero si passa alla lunghezza a t' mediante la formola [2], vale a dire moltiplicando per $1 + kt'$, locchè dà finalmente la lunghezza cercata

$$l' = \frac{l'\,(1 + kt')}{1 + kt}.$$

IV. Alla temperatura di t gradi, si misura una lunghezza data con un regolo metallico diviso in millimetri, e si trova che questa lunghezza contiene n divisioni del regolo. Quest'ultimo essendo stato diviso alla temperatura di zero, si domanda la correzione da farsi per tener conto della sua dilatazione da zero a t gradi.

Per ciò osserviamo che è solamente a zero che le divisioni del regolo valgono 1 millimetro: a t gradi ciascuna di esse vale $1 + kt$, k essendo il coefficente di dilatazione del regolo. Dunque le n divisioni ottenute rappresentano, non già n millimetri, ma $n\,(1 + kt)$. Tale è dunque il numero reale dei millimetri corrispondenti alla lunghezza che si è misurata.

V. Quale sarà la densità d' a t gradi di un corpo, che a zero ha la densità d?

Rappresentando con 1 il volume del corpo a zero e con D il suo coefficente di dilatazione cubica, il volume a t sarà $1 + Dt$; e siccome la densità di un corpo è evidentemente in ragione inversa del volume che piglia il corpo dilatandosi, si ha la proporzionale inversa

$$\frac{d'}{d} = \frac{1}{1 + Dt'}, \text{ da cui } d' = \frac{d}{1 + Dt'}.$$

D'onde si conchiude che quando un corpo si riscalda da 0 a t gradi, la sua densità e per conseguenza il suo peso, a volume uguale, variano in ragione inversa del binomio di dilatazione $1 + Dt$.

VI. Il volume di un pallone di vetro è V' a t gradi; quale sarà il suo volume V a zero?

Per risolvere questo quesito, si ammette che un pallone di vetro si dilata, per una variazione di temperatura determinata, della stessa quantità che si dilaterebbe una massa massiccia e di egual volume. In tal caso se si rappresenta con δ il coefficente di dilatazione cubica di vetro, e con V il volume del pallone a zero, si avrà, secondo la formola [5] (277),

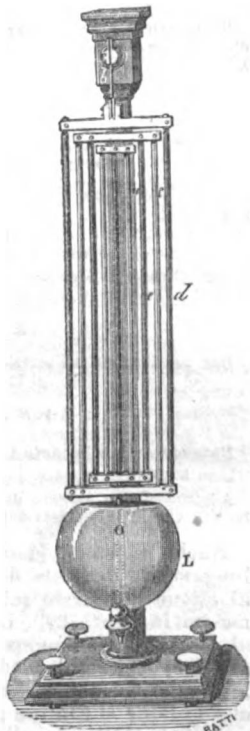
$$V' = V + \delta Vt = V(1 + \delta t),$$

$$\text{da cui } V = \frac{V'}{1 + \delta t}.$$

279. **Applicazioni della dilatazione dei solidi.** — La dilatazione dei solidi offre numerose applicazioni nelle arti. Le grate dei fornelli, per esempio, non devono essere troppo esattamente incastrate alle loro estremità, ma libere almeno ad una, altrimenti dilatandosi staccano le pietre dal fornello. Se le rotaie di una ferrovia si toccassero, la forza di dilatazione le incurverebbe di distanza in distanza, o spezzerebbe i loro guancialini. Quando si riscalda o si raffredda troppo repentinamente un vaso di vetro, esso si spezza, perchè, essendo il vetro un cattivo conduttore del calorico, le pareti inegualmente si riscaldano e si dilatano, il che produce la rottura.

Fig. 208.

280. **Pendolo a compensazione.** — L'ineguale dilatazione dei diversi metalli ha ricevuto un'importante applicazione nel *pendolo a compensazione*. Si dà un tal nome ad un pendolo, nel quale l'allungamento dell'asta, quando aumenta la temperatura, è compensato in modo che la distanza tra il centro di sospensione ed il centro di oscillazione rimanga costante (60); condizione che, giusta le leggi del pendolo (59, 3.°), è necessaria perchè l'isocronismo duri ed il pendolo possa servire di regolatore agli orologi (62). Numerosi sistemi si proposero per compensare i pendoli. Quello che rappresenta la fig. 208, dovuta a Leroy, è generalmente adottato.

In questo sistema la lente L, invece di essere sostenuta da una sola asta, è sostenuta da una serie di telai, le cui asti verticali sono alternativamente d'acciaio e d'ottone. Nell'accennata figura le aste d'acciaio sono quelle segnate in nero; esse sono 6, compresa una

lamina d'acciaio *b*, che porta tutto il pendolo, e si incurva ad ogni oscillazione; le altre in numero di quattro sono di ottone. L'asta *i*, che porta la lente L, è fissa all'estremità superiore ad una traversa orizzontale; ma all'estremità inferiore è libera, passando in due fori cilindrici praticati nelle traverse orizzontali inferiori.

Posto ciò, dal modo con cui le aste verticali sono collegate tra loro dalle traverse orizzontali, si può facilmente vedere che l'allungamento delle aste d'acciaio può soltanto effettuarsi dall'alto al basso, mentre all'opposto quello delle aste di ottone si effettua dal basso all'alto. Per conseguenza, affinchè la lunghezza del pendolo rimanga costante, basta che l'allungamento delle aste d'ottone sia tale da sollevare costantemente la lente di una quantità eguale a quella di cui l'allungamento delle aste d'acciaio tendono ad abbassarla. Questo risultato si ottiene dando alle aste d'acciaio e d'ottone *lunghezze tali che sieno in ragione inversa dei coefficenti di dilatazione di questi metalli.*

Infatti sieno a, a', a'', a''', le rispettive lunghezze delle aste d'acciaio b, d, e, i, le sole che evidentemente dobbiamo considerare; sieno pure c, c' le lunghezze delle aste d'ottone c, n; ed L la lunghezza del pendolo, cioè la distanza dal punto di sospensione al centro di oscillazione; si ha

$$L = (a + a' + a'' + a''') - (c + c') \quad [1].$$

Ma se con K e K' si rappresentano i coefficenti di dilatazione dell'acciaio e dell'ottone, gli allungamenti dei due metalli a t gradi saranno rispettivamente $(a + a' + a'' + a''')Kt$ e $(c + c')K't$. Perchè la lunghezza sia costante bisogna dunque che si abbia

$$(a + a' + a'' + a''')\,Kt = (c + c')\,K't, \text{ da cui } \frac{a + a' + a'' + a'''}{c + c'} = \frac{K'}{K} \quad [2].$$

Essendo codesto risultato indipendente da t, si scorge che la compensazione avrà luogo a tutte le temperature.

Attualmente se si vogliono calcolare le lunghezze rispettive di ciascun sistema di aste d'acciaio e di ottone perchè vi sia compensazione, non si ha che porre nell'equazione [2] il valore di $(a + a' + a'' + a''')$ cavato dall'equazione [1]; si ottiene

$$(L + c + c')\,K = (c + c'\,K'),$$

da cui si cava $c + c' = \dfrac{L}{\dfrac{K'}{K} - 1}$.

Ora per l'ottone e l'acciaio, il rapporto $\frac{K'}{K}$ eguaglia sensibilmente $\frac{7}{4}$, ciò che dà

$$c + c' = \frac{4}{3}L, \text{ e } a + a' + a'' + a''' = \frac{7}{3}L.$$

Dovendo ordinariamente i pendoli degli orologi battere i secondi, a Parigi (60) si ha $L = 0^m{,}993856$; epperò $c + c' = 1^m{,}325155$, ed $a + a' + a'' + a''' = 2^m{,}319021$.

Adoperando un numero di aste d'acciaio e d'ottone minore dell'indicato, il calcolo dimostra che la compensazione sarebbe impossibile.

Anche mediante *lamine compensatrici* si giunge a compensare l'allungamento dell'asta dei pendoli. Vengono così chiamate due lamine di ottone e di ferro saldate insieme e fissate all'asta del pendolo, come mostra la figura 209. La lamina di ottone che è la più dilatabile, è al disopra della lamina di ferro. Ciò posto quando la temperatura si abbassa, l'asta del pendolo si accorcia, e la lente si solleva, ma allora le lamine compensatrici si incurvano, come mostra la figura 210, perchè l'ottone si contrae più del ferro. In tal modo si abbassano due palle metalliche collocate all'estremità delle lamine, e se esse hanno una

massa conveniente, si stabilisce una compensazione tra i punti che si avvicinano al centro di sospensione e quelli che se ne allontanano, e

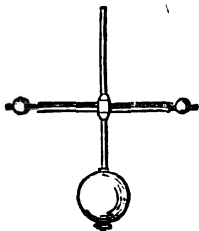
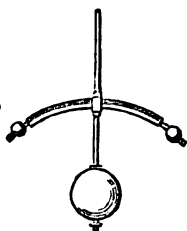
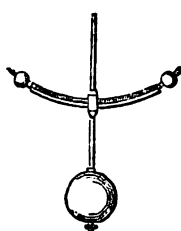



Fig. 209. Fig 210. Fig. 211.

così il centro di oscillazione non viene spostato. Se la temperatura si innalza, la lente discende, ma le palle salgono, come indica la fig. 211, ed evvi ancora compensazione.

CAPITOLO III.

DILATAZIONE DEI LIQUIDI

281. **Dilatazione apparente e dilatazione assoluta.** — Nei liquidi possiamo considerare solamente la dilatazione cubica, che si distingue in *dilatazione assoluta* ed in *dilatazione apparente*. La *dilatazione apparente* è l'aumento di volume, che subisce un liquido chiuso in un recipiente che si dilati meno di esso. È tale, nei termometri, la dilatazione del mercurio e dell'alcool. La *dilatazione assoluta* è l'aumento reale che avviene nel volume di un liquido, astrazione fatta da qualsivoglia dilatazione del recipiente.

La dilatazione apparente è minore della dilatazione assoluta di una quantità eguale alla dilatazione del recipiente. Si rende sensibile l'influenza della dilatazione del recipiente, immergendo nell'acqua bollente un termometro avente un serbatoio grande e riempito d'alcool colorato sino alla metà del tubo come quello rappresentato dalla fig. 190 (pag. 197). Al momento in cui il serbatoio entra nell'acqua calda, l'alcool si abbassa nel tubo, il che proviene evidentemente dalla dilatazione delle pareti del recipiente; ma se si continua a tener immerso il serbatoio, l'alcool si riscalda e sale nel tubo di una quantità eguale alla sua dilatazione assoluta diminuita di quella del recipiente.

Come pei solidi chiamasi *coefficente di dilatazione* d'un liquido l'aumento che subisce l'unità di volume, quando la temperatura si innalza da zero ad 1 grado; ma nei liquidi bisogna distinguere il *coefficente di dilatazione apparente* ed il *coefficente di dilatazione assoluta*. Molti processi si impiegarono per determinare questi due coefficenti di dilatazione. Noi daremo solamente quelli usati da Dulong e Petit.

282. **Coefficente di dilatazione assoluta del mercurio.** — Per determinare il coefficente di dilatazione assoluta del mercurio, bisognava evitare l'influenza della dilatazione del

recipiente. Dulong e Petit raggiunsero lo scopo, appoggiandosi al principio d'idrostatica che in due vasi comunicanti, le altezze dei due liquidi che si fanno equilibrio sono in ragione inversa delle loro densità (89), principio che è indipendente dal diametro dei vasi, e per conseguenza dalla loro dilatazione.

L'apparato dei due fisici si componeva di due tubi di vetro A e B (fig. 212) messi in comunicazione da un tubo capillare mantenuti in posizione verticale da un sostegno di ferro KM a cui si dava una direzione orizzontale mediante viti calanti e due livelli a

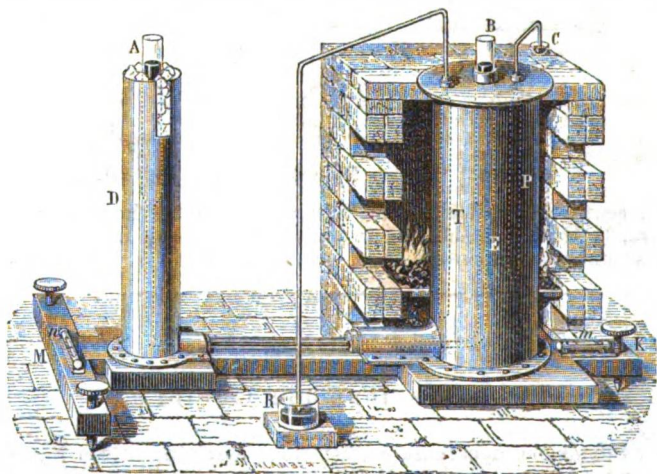



Fig. 212.

bolla d'aria *mn*. Un cilindro di metallo cingeva ciascuno di questi due tubi, il più piccolo dei quali, D, era pieno di ghiaccio frantumato, e l'altro, E, d'olio che si riscaldava gradatamente mediante un piccolo fornello, che nella figura è rappresentato aperto, onde si vegga il cilindro. Finalmente, i due tubi A e B erano pieni di mercurio che si disponeva allo stesso livello quando i tubi erano alla stessa temperatura, ma che si elevava nel tubo B mano mano che avveniva il riscaldamento.

Ciò posto sieno alla temperatura zero, nel tubo A, h l'altezza del mercurio al disopra dell'asse del tubo orizzontale, e d la sua densità, ed h' e d' le medesime quantità pel tubo B alla temperatura t; giusta il principio d'idrostatica summentovato, si ha $h'd' = hd$. Ora $d' = \frac{d}{1 + Dt}$ (278, prob. V), essendo D il coefficente di dilatazione assoluta del mercurio; sostituendo a d' il suo valore nell'eguaglianza data, si ottiene

$$\frac{h'd}{1 + Dt} = hd,$$

dalla quale si deduce $D = \frac{h' - h}{ht}$.

Quest'ultima formola serve a trovare il coefficente di dilatazione assoluta del mercurio, quando si sieno misurate le altezze h ed h' di questo liquido nei due tubi, non che la temperatura t del bagno in cui è immerso il tubo B. Nell'esperienza di Dulong e Petit questa temperatura era misurata da un termometro a peso P (284), il mercurio del quale riboccava in una capsula C e da un termometro ad aria T. Quest'ultimo consiste in un lungo serbatoio T riempito di aria secca, e terminato da un lungo tubo capillare che va ad immergersi in una vaschetta piena di mercurio. A misura che la temperatura del bagno di olio si innalza, l'aria si dilata in questo termometro e sfugge dal tubo lungo. Ma quando cessa di scaldarsi l'aria si contrae, il mercurio dalla vaschetta è respinto nel serbatoio, e se si raffredda quest'ultimo fino allo zero nel ghiaccio, il peso del mer-

curio che vi penetra fa conoscere il volume di aria uscito, e di conseguenza la temperatura alla quale è stato portato il termometro. Quanto alle altezze h' ed h si misuravano mediante un catetometro.

Con siffatto processo Dulong e Petit hanno trovato che il coefficente di dilatazione assoluta del mercurio tra zero e 100 gradi è $\frac{1}{5550}$. Ma essi hanno osservato che questo coefficente cresce colla temperatura. Tra 100 e 200 gradi, il coefficente medio è $\frac{1}{5425}$; tra 200 e 300 gradi è $\frac{1}{5300}$. Lo stesso fenomeno si osserva per gli altri liquidi; e pertanto noi siamo avvertiti che questi corpi non si dilatano regolarmente. Si constatò che la loro dilatazione è tanto più irregolare quanto più vicini sono alla loro temperatura di congelazione o d'ebollizione. Relativamente al mercurio, Dulong e Petit hanno constatato che da — 30 a 100 gradi la sua dilatazione è assai sensibilmente regolare.

283. Coefficente di dilatazione apparente del mercurio. — Il coefficente di dilatazione apparente di un liquido varia colla natura del recipiente. Quello del mercurio nel vetro è stato determinato da Dulong e Petit mediante l'apparecchio rappresentato dalla figura 213. Esso si compone di un serbatoio cilindrico di vetro, al quale è saldato un tubo capillare incurvato ad angolo retto ed aperto alla sua estremità.

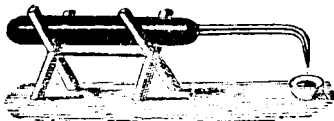



Fig. 213 (l. = 20).

Per fare l'esperienza si pesa l'istrumento vuoto, poi pieno di mercurio a zero; la differenza fra i due pesi dà il peso P del mercurio contenuto nell'apparecchio. Portandolo dopo ad una temperatura conosciuta t, il mercurio si dilata, e ne esce una certa quantità, che si raccoglie in una piccola capsula e che si pesa. Se si rappresenta con p il peso del mercurio che è uscito, quel del mercurio rimasto nell'apparato vien rappresentato da $P - p$.

Ciò posto quando lo strumento ritorna a zero, il mercurio raffreddandosi, si produce nel serbatoio un vuoto che rappresenta la contrazione del peso del mercurio $P - p$ da t a zero, o, ciò che evidentemente vale lo stesso, la dilatazione di questo stesso peso da zero a t; vale a dire che il peso p rappresenta la dilatazione per t gradi del peso $P - p$. Ora se il peso $P - p$, preso a zero si dilata nel vetro, di una quantità p fino a t gradi, una sola unità di peso si dilata, nelle stesse condizioni di peso, di $\frac{p}{P-p}$ per t gradi, e di $\frac{p}{(P-p)t}$ per un solo grado; dunque $\frac{p}{(P-p)t}$ rappresenta il coefficente di dilatazione apparente del mercurio nel vetro. Dunque rappresentando con D' questo coefficente, si ha

$$D' = \frac{p}{(P-p)t}.$$

Dulong e Petit hanno in tal guisa trovato che il coefficente di dilatazione apparente del mercurio nel vetro è $\frac{1}{6480}$.

284. Termometro a peso. — L'apparecchio rappresentato dalla figura 213 ha ricevuto il nome di *termometro a peso*, perchè dal peso del mercurio uscito si può dedurre la temperatura alla quale venne portato l'istrumento. Infatti, avendo l'esperienza precedente condotto alla formola $\frac{p}{(P-p)t} = \frac{1}{6480}$, eliminando i denominatori, si trova

$p \times 6480 = (P - p)\,t$, da cui si deduce

$$t = \frac{p \times 6480}{(P - p)},$$

formola daddove si deduce t, quando si conoscono P e p.

285. Coefficente di dilatazione del vetro. — Essendo la dilatazione assoluta di un liquido eguale alla sua dilatazione apparente aumentata della dilatazione del recipiente, si è ottenuto il coefficente di dilatazione cubica del vetro prendendo la differenza fra il coefficente della dilatazione assoluta del mercurio e quello della sua dilatazione apparente. Quindi il coefficente di dilatazione cubica del vetro eguaglia

$$\frac{1}{5550} - \frac{1}{6480} = \frac{1}{38700} = 0,00002584.$$

Regnault ha constatato che il coefficente di dilatazione varia colle differenti specie di vetro non solo ma anche colla forma dei recipienti. Pel vetro ordinario dei tubi che si adoperano in chimica, questo scienziato trovò che il coefficente è 0,0000254.

286. Coefficente di dilatazione dei diversi liquidi. — Il coefficente di dilatazione apparente di tutti i liquidi può determinarsi col processo del termometro a peso (283). Se in seguito si vuol determinare il coefficente di dilatazione assoluta, si aumenta il coefficente di dilatazione apparente del coefficente di dilatazione del vetro; e questo per la relazione esistente fra questi tre coefficenti (285).

Dilatazioni apparenti di alcuni liquidi da zero a **100** *gradi secondo Dalton.*

Mercurio	0,01543	Olio essenziale di trementina . .	0,07.
Acqua distillata	0,0466.	Etere solforico	0,07.
Acqua satura di salmarino . . .	0,05 . .	Oli fissi	0,08.
Acido solforico	0,06 . .	Alcool	0,11.
Acido cloridrico	0,06 . .	Acido azotico	0,11.

Siccome questi numeri rappresentano la dilatazione totale da 0 a 100 gradi, bisognerebbe dividerli per 100 onde ottenere la dilatazione per un sol grado, ossia il coefficente di dilatazione; però i risultati così ottenuti non rappresenterebbero il coefficente di dilatazione media dei liquidi, perchè siccome questi corpi si dilatano assai irregolarmente, il loro coefficente va sempre crescendo a partire dallo zero; avvi eccezione pel mercurio, la cui dilatazione, come vedemmo, è regolare da — 36 a 100 gradi.

287. Applicazione del termometro a peso alla misura delle dilatazioni cubiche. — Dulong e Petit applicarono il metodo del termometro a peso alla ricerca dei coefficenti di dilatazione cubica. Perciò essi prendevano un tubo di vetro piuttosto grosso e vi introducevano, in forma di prisma allungato, la sostanza di cui essi cercavano il coefficente di dilatazione, dopo averne determinato il peso e la densità e per conseguenza il volume. Essi facevano in seguito allungare col mezzo della lampada l'estremità del tubo e la curvavano in modo da darle la forma d'un termometro a pesi (fig. 214). Riempivano

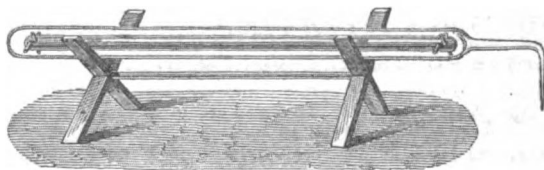



Fig. 214.

poscia di mercurio lo spazio rimasto vuoto nel tubo e determinavano il peso P di questo liquido che trovavasi in esso a zero.

Ciò posto, esperimentando assolutamente come col termometro a peso, portavasi l'apparecchio ad una temperatura conosciuta t; il mercurio ed il corpo contenuti nel tubo dilatandosi in allora più del vetro, usciva un peso p di mercurio che pesavasi, e non rimaneva che ad esprimere, con una equazione facile a trovare, che il volume del mercurio uscito eguagliava la dilatazione del corpo, più quella del mercurio, meno quella del vetro. Ora, siccome le dilatazioni del mercurio e del vetro erano conosciute, se ne deduceva quella del corpo contenuto nel tubo

288. Correzione dell'altezza barometrica. — Abbiamo già indicato all'articolo *Barometro* (146) che, affinchè le indicazioni di questo istrumento sieno fra loro comparabili in

luoghi diversi e in diverse stagioni, è necessario di ridurre sempre la colonna di mercurio ad una temperatura costante, che è quella del ghiaccio che si fonde. Questa correzione si fa mediante il calcolo seguente:

Sia H l'altezza del barometro a t gradi, sia h la sua altezza a zero. Se si rappresenta con d la densità del mercurio a zero, e con d' la sua densità a t gradi, si sa (140) che le altezze H e h sono in ragione inversa delle densità d e d'; si ha cioè $\frac{h}{H} = \frac{d'}{d}$ [1]. Ma se si rappresenta con 1 il volume del mercurio a zero, il suo volume a t gradi sarà rappresentato da $1 + Dt$, essendo D il coefficente di dilatazione assoluta del mercurio. Ora abbiamo visto (278, prob. v) che il rapporto dei volumi 1 e $1 + Dt$ è eguale al rapporto inverso della densità d e d', si ha cioè $\frac{d'}{d} = \frac{1}{1+Dt}$ [2]. Ciò posto, dalle equazioni [1] e [2] si ha $\frac{h}{H} = \frac{1}{1+Dt}$, da cui $h = \frac{H}{1+Dt}$. Sostituendo a D il suo valore $\frac{1}{5550}$, si ha $h = \frac{H}{1+\frac{t}{5550}} = \frac{H + 5550}{5550 + t}$.

In questo calcolo devesi prendere il coefficente di dilatazione assoluta del mercurio e non il coefficente di dilatazione apparente, perchè il valore di H è lo stesso come se il vetro non si dilatasse, essendo l'altezza del barometro indipendente dal diametro del tubo (82) e, per conseguenza, dalla sua dilatazione.

Come applicazione della formola suesposta, propongasi, essendo la temperatura a 25 gradi e l'altezza del barometro $0^m,75$, di calcolare l'altezza a zero.

$$\text{Si ha } h = \frac{0^m,75 \times 5550}{5550 + 25} = \frac{4162,1}{5575} = 0^m,746.$$

Nella formola qui sopra si è trascurata la dilatazione della scala del barometro. Ora, si è veduto (prob. IV, 278) che, per fare questa correzione, bisogna moltiplicare il numero n di divisioni osservate sulla scala per il binomio di dilatazione $(1 + kt)$. Dunque la vera altezza del barometro ricondotta a zero è

$$h = \frac{H(1+kt)}{1 + Dt}, \text{ o } h = \frac{H \times 5550\,(1+kt)}{5550 + t},$$

k essendo il coefficente di dilatazione della scala.

289. **Maximum di densità dell'acqua.** — L'acqua offre questo fenomeno rimarchevole che quando la sua temperatura si abbassa, non si condensa che fino a 4 gradi; al disotto di questo punto, sebbene il raffreddamento continui, non solo cessa la condensazione, ma il liquido si dilata sino al punto della congelazione che ha luogo a zero; di modo che a 4 gradi l'acqua subisce un maximum di condensazione.

Per verificarlo sperimentalmente, si fa uso dell'apparecchio seguente dovuto a Hope, fisico scozzese. In una provetta a piede sono praticati lateralmente due fori, l'uno alla parte superiore, l'altro all'inferiore, nei quali sono fissati due termometri (fig. 215). Di più, un manicotto metallico pieno di ghiaccio circonda la parte di mezzo della provetta. Ora, quest'ultima essendo riempita di acqua alla temperatura di 10 o 12 gradi, si osserva che il termometro superiore restando presso a poco stazionario, l'inferiore si abbassa rapidamente fino a 4 gradi; poi rimanendo stazionario alla sua volta, è il termometro superiore che discende, non solo a 4 gradi, ma fino a zero, mentre l'altro rimane sempre a 4. Si conchiude da ciò che fino che l'acqua si raffredda a 4 gradi essa va aumentando di densità, poichè essa si rende alla parte inferiore della provetta; ma che raffreddandosi di più, essa si dilata, poichè essa si innalza in tal caso verso la parte superiore. È dunque proprio a 4 gradi che essa raggiunge il suo massimo di densità.

Più tardi, Hallström pesò successivamente, nell'acqua, a diverse temperature, un globo di vetro zavorrato con sabbia e, tenendo conto della dilatazione del vetro trovò essere nell'acqua a 4°,1 **che il globo perdeva** maggiormente del **suo peso; da ciò** trasse la consegu**enza che egli era a** questa temperatur**a che avveniva il maximum** di conden**sazione dell'acqua.**

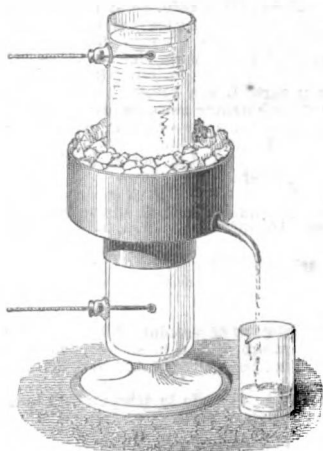



Fig. 125.

Ma Despretz, con **un altro metodo,** si assicurò che eg**li è esattamente a 4°** che avviene tal fe**nomeno. Questo scienziato** fece uso di **un termometro ad** acqua, contenente **cioè dell' acqua invece** del mercurio. **Raffreddandolo gradatamente** in un **bagno, la temperatura** del quale era **data da un termometro** a mercurio, **e tenendo conto della contrazione del recipiente trovò che egli** è a 4 gradi che **ha luogo, nel** termometro ad acqua, il **maximum** di condensazione, e per **conseguenza** il **maximum** di densità **dell'acqua.**

Despretz ha costruita una tavola delle densità dell'acqua da — 9 a 100°, **quella dell'acqua a 4 gradi essendo presa per unità. Noi togliamo appunto da codesta tavola i seguenti numeri che bastano nei limiti di temperatura fra i quali più sovente si esperimenta nei laboratorii.**

Densità dell'acqua da 0 a 30 gradi, la densità a 4 gradi essendo presa per unità.

Temperature	Densità	Temperature	Densità	Temperature	Densità
0	0,999873	11	0,999640	22	0,997784
1	0,999927	12	0 999527	23	0,997560
2	0 999966	13	0,999414	24	0,997297
3	0 999999	14	0,999285	25	0,997078
4	1 000000	15	0,999125	26	0.996800
5	0,999999	16	0 998978	27	0,996502
6	0,999969	17	0,998794	28	0 996274
7	0 999929	18	0,998612	29	0 995986
8	0,999878	19	0,998422	30	0 995688
9	0,999812	20	0,998213	50	0 988093
10	0,999731	21	0,998004	100	0,958634

Codesta tavola mostra che la densità dell'acqua decresce irregolarissimamente, da 4 a 100 gradi, e che, di conseguenza, lo stesso accade, in senso contrario, del suo coefficente di dilatazione. Per questa ragione non vi sarebbe alcun rigore nei calcoli se si facesse uso del coefficente di dilatazione media dell'acqua tra 0 e 100 gradi; e Δ essendo il coefficente di dilatazione dell'acqua, non si potrebbe fare entrare nei calcoli il binomio $1 + \Delta t$. Ma la densità dell'acqua a t gradi essendo data dalla tavola suesposta, si potrà sempre far uso direttamente della formola $P = VD$, per calcolare sia il peso a t gradi di una massa di acqua di volume conosciuto, sia il volume, se è dato il peso.

Per esempio, se si vuol calcolare il peso P di un volume d'acqua V, a t gradi, si cercherà nella tavola suesposta la densità d' dell'acqua a t gradi, e il peso, che sarà V

a 4 gradi, sarà Vd' a t gradi. Si ha dunque $P = Vd'$, V essendo espresso in decimetri cubi, e P in chilogrammi.

290. Correzioni dei pesi specifici dei solidi e dei liquidi. — Nei diversi metodi che sono stati dati per la determinazione dei pesi specifici (102 e 104), si sono supposti i corpi solidi o liquidi alla temperatura di zero, e l'acqua a quella di 4 gradi. Ora, poichè in generale queste condizioni non sono soddisfatte, si hanno più correzioni da effettuare. Per ciò, consideriamo il caso in cui si faccia uso della bilancia idrostatica, e ammettiamo inoltre che si faccia la correzione della pesata nell'aria (168).

Siano p il peso reale del corpo, K il suo coefficente di dilatazione cubica, d il suo peso specifico a zero, vale a dire l'incognita che si cerca, e t la temperatura. $\frac{p}{d}$ essendo il volume del corpo a zero, il suo volume a t gradi è $\frac{p}{d}(1 + Kt)$. Rappresentando con a il peso di un litro di aria alla temperatura t, e sotto la pressione barometrica al momento della esperienza, la perdita di peso nell'aria è dunque $\frac{p}{d}(1 + Kt)\,a$, e il peso apparente del corpo è

$$p - \frac{p}{d}(1 + Kt)\,a = p\left[1 - \frac{(1 + Kt)\,a}{d}\right].$$

Ora, P essendo il peso reale dei pesi marcati che fanno equilibrio al corpo, D il loro peso specifico, K' il loro coefficente di dilatazione cubica, si ha egualmente, per il loro peso apparente, $P\left[1 - \frac{(1 + K't)\,a}{D}\right]$. Dunque la prima pesata, quella fatta nell'aria, fornisce l'equazione

$$p = \left[1 - \frac{(1 + Kt)\,a}{d}\right] = P\left[1 - \frac{(1 + K't)\,a}{D}\right] \quad [1].$$

Passiamo ora alla seconda pesata, quella fatta nell'acqua. Si è veduto che il volume del corpo di cui si cerca il peso specifico è, a t gradi, $\frac{p}{d}(1 + Kt)$. Se si cerca nella tavola di Despretz la densità d' dell'acqua a t gradi, il prodotto $\frac{p}{d}(1 + Kt)\,d'$ rappresenta il peso dell'acqua spostata dal corpo. Ora, se si designano con P' i pesi marcati che fanno equilibrio al corpo pesato nell'acqua, vale a dire al peso apparente del corpo meno il peso dell'acqua spostata, la differenza $P - P'$ dei pesi impiegati nelle due pesate è precisamente il peso dell'acqua spostata. Si ha dunque, la correzione della pesata fatta nell'aria,

$$\frac{p}{d}(1 + Kt)\,d' = (P - P')\left[1 - \frac{(1 + K't)\,a}{D}\right] \quad [2].$$

Dividendo membro per membro l'equazione [1] per l'equazione [2], onde eliminare p che è incognita, e sopprimendo il fattor comune $\left[1 - \frac{(1 + K't)\,a}{D}\right]$, si ottiene

$$\frac{d - (1 + Kt)\,a}{(1 + Kt)\,d'} = \frac{P}{P - P'};$$

da cui si cava $d = (1 + Kt)\left[a + \frac{Pd'}{P - P'}\right]$.

In quanto ad a, vedremo che, per determinarla rigorosamente, bisogna tener conto non solo della temperatura e della pressione, ma anche del vapor d'acqua contenuto nell'aria (351, prob. II).

Se invece di usare la bilancia idrostatica, si impiegasse il metodo delle boccette, o quello degli areometri, le correzioni si farebbero nello stesso modo.

CAPITOLO IV.

DILATAZIONE E DENSITA' DEI GAS

291. **Metodo di Gay-Lussac, sue leggi.** — I gas sono i corpi più dilatabili, e nello stesso tempo quelli, la dilatazione dei quali presenta maggiore regolarità. Inoltre, prendendo per coefficente di dilatazione dei gas, come pei solidi e pei liquidi, l'incremento dell'unità di volume da 0 ad 1 grado, si trova che i coefficenti di dilatazione dei differenti gas, tra loro differiscono solo di quantità piccolissime.

Gay-Lussac pel primo misurò il coefficente di dilatazione dei gas mediante l'apparecchio rappresentato dalla figura 216. Questo consiste in

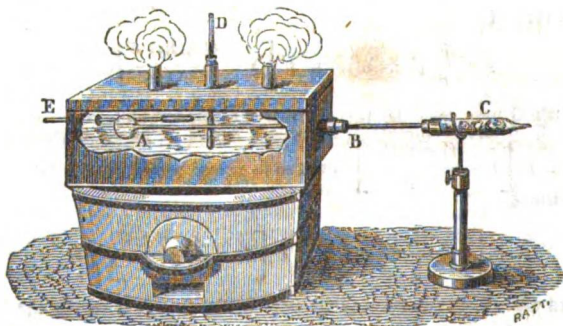



Fig. 216 (l. = 40).

una cassa rettangolare di latta, lunga 40 centimetri circa, e piena di acqua, la cui temperatura si può più o meno elevare. In mezzo all'acqua evvi un termometro ad aria, formato d'un serbatoio sferico A e d'un tubo capillare AB. Il tubo è previamente diviso in parti d'egual capacità (254), e si determina quante ne contenga il serbatoio A. Per ottener questo si pesa l'apparato pieno di mercurio a zero, poi lo si riscalda leggermente per far uscire dal tubo AB tanto di mercurio che ricondotto a zero non ne contenga più che una piccola colonna. Pesando di nuovo si ha il peso del mercurio uscito. Raffreddando a zero quello che rimane, si produce nel tubo un vuoto, che fa conoscere il volume corrispondente al peso del mercurio effluito e perciò al numero di parti del tubo che ora rimangono vuote di questo liquido. Se ne deduce quindi il volume del mercurio rimasto nell'apparato, e per conseguenza il volume del serbatoio mediante lo stesso calcolo, che si è già fatto per determinare il volume del piezometro (pag. 52).

Infatti, siano n il numero di parti di eguale capacità contenute nel tubo capillare, n' il numero di queste parti attualmente vuote di mercurio, e N il numero delle stesse parti che contiene il serbatoio A. Rappresentando con P e P' i pesi ottenuti nelle due pesate, P — P' è il peso del mercurio uscito, il quale corrisponde ad n' divisioni del tubo, mentre P corrisponde alle N + n parti del serbatoio e del tubo. Si ha dunque

$$\frac{P}{P-P'} = \frac{N+n}{n'}, \text{ da cui } N = \frac{Pn'}{P-P'} - n.$$

Resta ad empire il serbatoio ed il tubo d'aria secca. A tal uopo si riempiono dapprima di mercurio che si fa bollire nel serbatoio stesso per disseccarlo; poscia si fissa all'estremità del tubo per mezzo d'un turacciolo un tubo C pieno di sostanze disseccanti, per es. di cloruro di calcio. S'introduce allora nel tubo AB, attraverso il tubo C, un sottil filo di platino, che si agita nel tubo, inclinando nel tempo istesso quest'ultimo in modo da far effluire il mercurio a goccia a goccia, dando leggiere scosse all'apparato. L'aria rientra allora a bolla a bolla nel serbatoio, ma dopo d'essersi essiccata pel cloruro di calcio. Finalmente si abbia cura di conservare nel tubo AB un piccol indice di mercurio.

Posto ciò, si colloca il termometro ad aria nella vasca rettangolare di latta. Essendo questa dapprima riempita di ghiaccio fondentesi, l'aria si contrae e l'indice B scorre verso il serbatoio A. Si nota il punto in cui esso diventa stazionario, e per tal modo si viene a determinare il volume dell'aria a zero, poichè conoscesi la capacità del serbatoio. Ritirato allora il ghiaccio, vi si sostituisce dell'acqua o dell'olio, e si riscalda la vasca su un fornello. L'aria del serbatoio si dilata, e l'indice si avanza da A verso B. Notando finalmente il punto in cui si arresta e in pari tempo la temperatura indicata dai due termometri D ed E, si conosce il volume dell'aria e la sua temperatura.

Se si suppone dapprima che la pressione atmosferica non abbia variato durante l'esperienza, e se si trascura la dilatazione del vetro che è piccolissima, si ha la dilatazione totale dell'aria nell'apparato, sottraendo dal volume che ha preso alla fine dell'esperienza, quello che aveva a zero. Dividendo allora per la temperatura finale, si ha la dilatazione corrispondente ad 1 grado, e dividendo finalmente pel numero d'unità contenute nel volume a zero, si ha la dilatazione corrispondente ad un sol grado e ad una sola unità di volume, vale a dire il coefficente di dilatazione.

Si vedrà nei problemi seguenti (292) come debbansi fare le correzioni di pressione e di temperatura, se si vuol avere riguardo alle variazioni di pressione atmosferica ed alla dilatazione del vetro durante l'esperienza.

Coll'apparato che abbiamo descritto, Gay-Lussac aveva trovato che il coefficente di dilatazione dell'aria era 0,00375, ma con metodi più precisi si è constatato in seguito che questo numero è troppo grande, e che il vero valore del coefficente di dilatazione dell'aria è 0,00367.

Inoltre, Gay-Lussac aveva dato sulla dilatazione dei gas le due leggi seguenti, rimarchevoli per la loro semplicità:

1.° *Tutti i gas hanno lo stesso coefficente di dilatazione dell'aria;*

2.° *Questo coefficente conserva lo stesso valore, qualunque sia la pressione cui vengono assoggettati i gas.*

Ma vedremo quanto prima (293) che queste leggi non si ponno rigorosamente ammettere, e che soltanto in modo approssimativo esprimono il fenomeno della dilatazione dei gas.

292. Problema sulla dilatazione dei gas. — I. Il volume di un gas a zero è V; quale sarà il suo volume a t gradi, essendo α il coefficente di dilatazione, e rimanendo costante la pressione?

Sia V' il volume cercato; ripetendo lo stesso ragionamento che abbiam fatto per la dilatazione lineare (278), di leggeri si trova

$$V' = V + \alpha V t, \text{ ossia } V' = V(1 + \alpha t) \quad [1].$$

II. Il volume di un gas a t gradi è V'; quale sarà il suo volume V a zero, rimanendo costante la pressione, ed essendo α il coefficente di dilatazione?

Questo problema si risolve mediante la formola [1], già esposta dalla quale dividendo ambedue i membri per $1 + \alpha t$ si deduce,

$$V = \frac{V'}{1 + \alpha t} \quad [2].$$

III. Conoscendosi il volume V' d'un gas a t gradi, calcolare il suo volume V'' a t' gradi, nell'ipotesi che la pressione rimanga costante.

Primieramente bisogna ridurre il volume a zero mediante la formola [2], per cui si ha $\frac{V'}{1 + \alpha t}$. Quindi si riduce quest'ultimo volume da zero a t gradi per mezzo della formola [1], e finalmente si ha

$$V'' = \frac{V' (1 + \alpha t')}{1 + \alpha t}. \quad [3].$$

IV. Il volume di un gas a t gradi e sotto la pressione H è V'; quale sarà il volume V della stessa massa di gas a zero sotto la pressione $0^m,76$?

Qui dobbiamo fare due correzioni, l'una relativa alla pressione, l'altra alla temperatura. È indifferente far prima l'una o l'altra. Se si fa prima la correzione di temperatura, il volume a zero giusta la formola [2] sarà $\frac{V'}{1 + \alpha t}$, e questo alla pressione H. Da questa pressione lo si riduce alla pressione $0^m,76$, ponendo per la legge di Mariotte (152),

$$V \times 0,76 = \frac{V'}{1 + \alpha t} \times H,$$

$$\text{donde } V = \frac{V'H}{(1 + \alpha t)\ 0,76} \quad [4].$$

Come applicazione numerica, risolvasi il seguente problema: Dati 8 litri d'aria a 25 gradi ed alla pressione $0^m,74$, determinare il volume a zero e alla pressione $0^m,76$.

Se si fa prima la correzione di pressione, si ha $\frac{x}{8} = \frac{74}{76}$;

$$\text{da cui } x = \frac{74 \times 8}{76} = 7^{lit},789.$$

Il volume così ottenuto è alla pressione $0^m,76$, ma ancora a 25 gradi; rimane a ridurlo a zero. Per ciò si fa uso della formola [2] or ora esposta, onde si ha pel volume cercato

$$V = \frac{7,789}{1 + 0,00367 \times 25} = \frac{7,789}{1,0915} = 7^{lit},136.$$

Si potrebbe anche direttamente far uso della formola [4], sostituendo ad H, V', α e t i loro valori.

V. La densità o il peso specifico di un gas a zero essendo d, si domanda la sua densità a t gradi.

Sia d' la densità del gas a t gradi; se si rappresenta con 1 un certo volume di questo gas a zero, il volume a t gradi sarà $1 + \alpha t$. Ora le densità essendo, a massa eguale, in ragione inversa dei volumi (41), si ha

$$\frac{d'}{d} = \frac{1}{1 + \alpha t}, \text{ da cui } d' = \frac{d}{1 + \alpha t} \quad [1], \text{ e } d = d' (1 + \alpha t) \quad [2].$$

La formola [1] mostra che la densità a t gradi è in ragione inversa del binomio di dilatazione $1 + \alpha t$. Quanto alla formola [2], essa serve a calcolare la densità a zero, quando si conosca la densità a t gradi.

VI. Un certo volume di gas a t gradi pesa P'; quale sarà il peso dello stesso volume di questo gas a zero?

Siano P il peso cercato, α il coefficente di dilatazione del gas, d' la sua densità a t gradi, e d la sua densità a zero. Essendo i pesi proporzionali alle densità, si ha la proporzione

$$\frac{P'}{P} = \frac{d'}{d}.$$

Ora si è veduto di sopra (prob. V) che $\frac{d'}{d} = \frac{1}{1+\alpha t}$; dunque

$$\frac{P'}{P} = \frac{1}{1+\alpha t}, \text{ da cui } P = P'(1+\alpha t).$$

Da quest'ultima eguaglianza si cava anche $P' = \frac{P}{1+\alpha t}$, formola che serve a trovare il peso a t gradi quando si conosca il peso a zero, e che mostra che il peso P′ è in ragione inversa del binomio di dilatazione $1 + \alpha t$.

VII. Calcolare il peso P d'azoto che sarebbe contenuto a 32°, in un pallone di vetro, il cui volume a zero è $12^{lit},3$; sapendosi che il coefficente di dilatazione dell'azoto è 0,003668, il coefficente di dilatazione lineare del vetro 0,00000861, il peso specifico dell'azoto 0,9714, e nell'ipotesi che la pressione atmosferica sia eguale a $0^m,76$.

Sieno k il coefficente di dilatazione lineare del vetro, V il volume del pallone a zero, il suo volume a t gradi sarà $V(1 + 3kt)$ (273 e 277). Per trovare il peso d'azoto contenuto in questo pallone, osserviamo che siccome un litro d'aria a 0 e alla pressione $0^m,76$ pesa $1^{gr},3$, un litro d'azoto alla stessa temperatura ed alla stessa pressione pesa $1^{gr},3 \times 0,9714$, poichè il numero 0,9714 è il peso specifico dell'azoto rispetto all'aria; per conseguenza un litro d'azoto, a t gradi, pesa $\frac{1^{gr},3 \times 0,9714}{1+\alpha t}$ (prob. VI), essendo α il coefficente di dilatazione dell'azoto. Epperò, finalmente, il peso domandato è $\frac{1^{gr},3 \times 0,9714}{1+\alpha t} \times V(1 + 3kt)$. Sostituendo a V, k, t ed α i loro valori, si trova $P = 14^{gr},023$.

293. **Metodo di Regnault.** — Regnault ha successivamente fatto uso di quattro processi per determinare il coefficente di dilatazione dei gas. In taluni la pressione era costante ed il volume del gas variabile, come nel processo di Gay-Lussac; in tali altri invece era costante il volume, ma si poteva far variare ad arbitrio la pressione. Noi descriveremo solamente il primo processo impiegato da Regnault, lo stesso che avevano già usato Dulong e Rudberg, e nel quale la pressione è costante. Ma le esperienze di Regnault si distinguono per le cure avute onde evitare le cause d'errore. Il suo apparato si compone di un serbatoio cilindrico B (fig. 217) d'una certa qual capacità, al quale è saldato un tubo capillare ricurvo. Onde riempire questo serbatoio d'aria perfettamente secca, lo si dispone, come mostra la figura, in un vaso di latta simile a quello che serve a determinare il punto 100 dei termometri; poscia, mercè un tubo di caoutchouc, si congiunge il tubo capillare ad una serie di tubi foggiati ad U pieni di sostanze disseccanti. Questi tubi metton capo ad una piccola tromba ad aria, mediante la quale si pratica il vuoto in questi tubi e nel serbatoio, mentre quest'ultimo è avvolto nel vapor d'acqua a 100 gradi. Si lascia dopo rientrare lentamente l'aria, quindi si fa di nuovo il vuoto, e così di seguito un gran numero di volte. In tal modo si giunge a disseccar completamente l'aria che si trova nel serbatoio, poichè l'umidità che era aderente alle pareti, si svolge in vapore alla temperatura di 100 gradi, e l'aria che penetra, ogni qualvolta si pratica il vuoto, è disseccata passando pei tubi ricurvi ad U.

Fatto ciò, si cessa per circa mezz'ora, onde l'aria pigli la temperatura del vapor acqueo, poi si tolgono i tubi disseccanti, e si chiude alla lampada l'estremità del tubo, avendo cura di notare in pari tempo l'altezza H del barometro. Raffreddato che sia il serbatoio B lo si colloca nell'apparecchio rappresentato dalla figura 218. Lo si circonda allora completamente di ghiaccio per ridurre a zero l'aria ch'esso contiene, e si immerge l'estremità del tubo capillare in una vaschetta C piena di mercurio. Quando il serbatoio B è a zero, si rompe con una piccola pinzetta la punta b; essendosi l'aria interna condensata, il mercurio della vaschetta vi penetra in forza della pressione atmosferica, e si innalza ad un'altezza oG, tale, che aggiunta alla forza elastica dell'aria che rimane nell'apparato, faccia equilibrio alla pressione atmosferica. Onde misurare l'altezza della colonna Go, che noi rappresenteremo con h, si abbassa un'asta mobile go finchè la punta o affiori la superficie del mercurio nella vaschetta, poi si misura col catetometro la differenza d'altezza tra la punta g ed il livello del mercurio in G. Aggiungendo a questa differenza la lunghezza dell'asta go che è conosciuta, si ha l'altezza h della colonna Go

Si chiude finalmente con un po' di cera la punta b, mediante il pezzo a, e si nota la pressione indicata dal barometro. Rappresentandola con H', la pressione nel serbatoio B è rappresentata da $H' - h$.

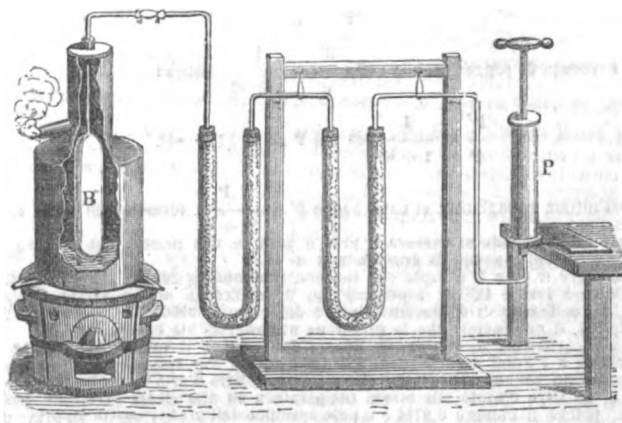



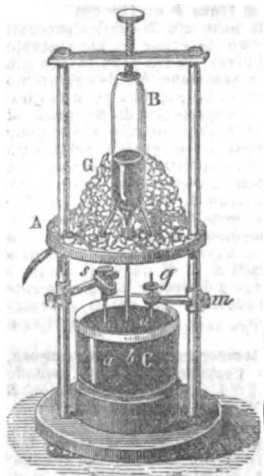
Fig. 217.

Prese queste misure, si leva il serbatoio dal ghiaccio, e lo si pesa per avere il peso P del mercurio che vi si è introdotto. Si riempie in seguito questo serbatoio completamente di mercurio a zero, e si determina il peso P' del mercurio contenuto tanto nel serbatoio, quanto nel tubo.

Fig. 218.

Indicando allora con δ il coefficente di dilatazione del vetro, con α quello dell'aria, e con D la densità del mercurio a zero, si determina α col seguente calcolo. Il volume del serbatoio e del tubo a zero è $\frac{P'}{D}$, giusta la formola $P = VD$ (100); per conseguenza a t gradi, questo volume è $\frac{P'}{D}(1 + \delta t)$ (278, prob. VI), alla pressione H che aveva luogo, quando si è chiuso alla lampada. Dunque per la legge di Mariotte, alla pressione 76 esso è $\frac{P'(1 + \delta t) H}{D, 76}$ [1]. Ora, in forza della formola $P = VD$, il volume dell'aria che rimane nel serbatoio è rappresentato da $\frac{P' - P}{D}$, a zero ed alla pressione $H' - h$. Sotto la stessa pressione, ma a t gradi, questo volume è dunque $\left(\frac{P' - P}{D}\right)(1 + \alpha t)$; ed alla pressione 76, diventa $\frac{(P' - P)(1 + \alpha t)(H' - h)}{D\ 76}$ [2]. Ora i volumi rappresentati dalle formole [1] e [2] altro non sono che il volume del serbatoio e del tubo a t gradi ed alla pressione 76; dunque essi sono uguali. Per conseguenza togliendo il denominatore comune, si ha l'equazione

$$P'(1 + \delta t) H = (P - P)(1 + \alpha t)(H' - h) \ [3],$$

dalla quale si deduce il valore di α.

Così operando, Regnault trovò, da zero a 100 gradi, e per pressioni comprese tra 0^m,30, e 0^m,50, i coefficenti seguenti per variazioni di temperatura di 1 grado e sotto una pressione costante:

Idrogeno	0,003661
Ossido di carbonio	0,003669
Aria	0,003670
Acido carbonico	0,003710
Protossido d'azoto	0,003719
Cianogeno	0,003877
Acido solforico	0,003903

Vediamo da questi numeri, che i coefficenti dei gas, eccetto per gli ultimi due, differiscono tra loro soltanto di quantità piccolissime Regnault ha inoltre constatato che da una stessa temperatura la dilatazione di qualsivoglia gas è tanto maggiore quanto più forte è la pressione a cui viene assoggettato. Finalmente questo scienziato ha osservato che i coefficenti di dilatazione di due gas tanto più fra loro differiscono, quanto maggiori sono le pressioni cui si sottopongono.

294. **Termometro ad aria.** — Il *termometro ad aria*, come indica il suo nome, è fondato sulla dilatazione dell'aria. Il più semplice sarebbe il tubo capillare a serbatoio di cui si servì Gay-Lussac per misurare il coefficente di dilatazione dei gas (fig. 216). Infatti, come, essendo conosciuta la temperatura, si dedusse dallo spostamento dell'indice nel tubo il coefficente di dilatazione dell'aria; reciprocamente, conosciuto che sia quest'ultimo, è facile di calcolare la temperatura corrispondente a ciascun spostamento dell'indice. Ma il movimento dell'indice, sarebbe sempre modificato da quella stessa causa di errore per la quale Gay-Lussac trovò un coefficente di dilatazione troppo grande, e si otterrebbero temperature troppo elevate. È per questa ragione che si prende di preferenza per termometro ad aria un tubo simile a quello che ha servito a misurare il coefficente di dilatazione dei gas nell'apparecchio di Regnault (fig. 217 e 218). Operando con questo tubo come nella esperienza del paragrafo 293, si determinano le quantità P, P′, H, H′ e h che entrano nell'equazione [3], e siccome α e δ sono conosciute, si deduce da questa equazione la temperatura t alla quale è stato portato. Ma l'uso di questo termometro esige molto tempo e molte cure. Così il termometro a mercurio ad asta o a peso, è generalmente preferito. Tuttavia non si deve perdere di vista che i termometri ad aria presentano sui termometri a mercurio due vantaggi importanti. 1.° Essi sono più sensibili per ragione che l'aria è venti volte più dilatabile del mercurio. 2.° Per ragione che mentre due termometri a mercurio concordano raramente, in fuori dei limiti di — 36 e 100 gradi (262), due termometri ad aria sono sempre comparabili fra loro; ciò che consegue ancora dalla grande dilatazione dei gas, innanzi alla quale scompare per così dire la piccola differenza di dilatazione delle diverse specie di vetro di cui i termometri sono costrutti.

Secondo le ricerche di Regnault, il termometro ad aria e il termometro a mercurio sono sensibilmente d'accordo fino a 240 gradi, quando il vetro del termometro a mercurio è vetro verde; se è di cristallo, la discordanza è maggiore, e quando il termometro ad aria segna 350 gradi, il termometro a mercurio segna 360°,5.

295. **Peso specifico dei gas riguardo all'aria.** — Il *peso specifico* o la *densità di un gas rapporto all'aria* è il rapporto del peso di un certo volume di questo gas a quello d'uno stesso volume d'aria, essendo tanto il gas che l'aria a zero ed alla pressione 0^m,76.

Ammessa questa definizione, per conoscere la densità di un gas bisogna cercare il peso di un certo volume di questo gas a zero ed alla

pressione 0m,76, poi quello di uno stesso volume d'aria alla medesima temperatura ed alla stessa pressione, e dividere il primo peso pel secondo. A tale intento si fa uso di un pallone di vetro della capacità di 8 a 10 litri, il collo del quale è munito di robinetto che può applicarsi a vite sulla macchina pneumatica (fig. 78, pag. 90). Si pesa questo pallone successivamente vuoto, pieno d'aria e pieno del gas di cui si cerca la densità, essendo l'aria ed il gas disseccati col medesimo processo come nell'apparecchio rappresentato nella figura 217. Sottraendo dal peso ottenuto nelle ultime due pesate quello del pallone vuoto, si ha il peso dell'aria ed il peso del gas sotto lo stesso volume. Dato il caso che durante queste diverse pesate la temperatura fosse stata costantemente a zero e la pressione 0m,76, allora non resterebbe che a dividere il peso del gas pel peso dell'aria, ed il quoziente sarebbe la densità cercata. Ma il processo, che noi abbiamo fatto conoscere, richiede in generale molte correzioni per ridurre i pesi dei due gas a zero ed alla pressione 0m,76, non che per ridurre a zero la capacità del pallone.

Per fare queste correzioni devesi dapprima aver cura di operare sopra dei gas secchi, ciò che si ottiene facendoli passare su delle materie disseccanti prima d'introdurli nel pallone; e l'aria deve passare su della potassa caustica per perdere l'acido carbonico che essa contiene. Di più siccome le migliori macchine pneumatiche non fanno mai il vuoto perfetto, onde non tener conto, nelle pesate, dei gas che resta nel pallone, si farà il vuoto ogni volta fino a che il provino marchi la stessa tensione e.

Ciò posto, si fa il vuoto nel pallone, poscia vi si lascia entrare dell'aria secca; e così di seguito per parecchie volte sino a che il pallone sia perfettamente secco. Facendo allora il vuoto un'ultima volta sino a che il provino segni la tensione e, si pesa e si ha il peso p' del pallone vuoto. Si lascia allora rientrare lentamente l'aria attraverso a tubi contenenti, gli uni del cloruro di calcio, gli altri della potassa; si pesa di nuovo e trovasi che il peso del pallone pieno è P'. Chiamando H' l'altezza barometrica e t' la temperatura al momento della pesata, $P' - p'$ dunque è il peso dell'aria contenuta nel pallone alla temperatura t' e alla pressione $H' - e$.

Per ricondurre questo peso alla pressione 760 e alla temperatura 0, sieno α' il coefficente di dilatazione dell'aria e δ il coefficente di dilatazione cubica del vetro. Secondo la legge di Mariotte, il peso che è $P' - p'$ alla pressione $H' - e$, sarà, alla pressione 760, $(P' - p')\frac{760}{H'-e}$, la temperatura essendo tuttavia t'. Ora se questa diventa 0, la capacità del pallone diminuisce nel rapporto $1 + \delta t'$ ad 1, mentre che il peso del gas aumenta nel rapporto di 1 ad $1 + \alpha' t'$, come si scorge dai problemi VI (178) e V (292). Il peso dell'aria contenuta nel pallone a 0 ed alla pressione 760, è dunque

$$(P' - p')\frac{760}{H'-e}\cdot\frac{1+\alpha' t'}{1+\delta t'} \quad [1].$$

Sieno egualmente α il coefficente di dilatazione del gas di cui si cerca la densità, P il peso del pallone pieno di questo gas, alla temperatura t ed alla pressione barometrica H, e finalmente p il peso del pallone vuoto quando se ne è ritirato il gas sino alla tensione e; il peso del gas contenuto nel pallone, alla pressione 760 e alla temperatura 0, sarà rappresentato da

$$(P-p)\frac{760}{H-e}\cdot\frac{1+\alpha t}{1+\delta t} \quad [2].$$

Dividendo la formola [2] per la formola [1], si ha dunque per la densità cercata

$$D = \frac{(P-p)\,(H'-e)\,(1+\alpha t)\,(1+\delta t')}{(P'-p')\,(H-e)\,(1+\alpha' t')\,(1+\delta t)},$$

formola che è indipendente dal volume del pallone.

Se la temperatura e la pressione non variano durante l'esperienza, si ha $H = H'$ e di conseguenza $D = \frac{(P-p)\,(1+\alpha t)}{(P'-p')\,(1+\alpha' t)}$; e se finalmente si supponga $\alpha = \alpha'$, si ha

$$D = \frac{P-p}{P'-p'}.$$

296. Metodo di Regnault per trovare la densità dei gas. — Nel metodo or ora descritto bisogna farvi numerose correzioni; Regnault le toglie in parte col processo seguente. Si prendono due palloni a robinetto di identico vetro, e approssimativamente di volumi esterni eguali; poi si chiude il maggiore con una tubulatura a robinetto, poi il più piccolo con una semplice tubulatura munita di uncino. Per rendere dopo i volumi dei due palloni eguali, si riempiono di acqua e si sospendono ai piatti di una bilancia, avendo cura di stabilire l'equilibrio con una tara. Facendoli immergere in una vasca piena di acqua, l'equilibrio è rotto, e il numero di grammi p che bisogna aggiungere per ristabilirlo, rappresenta in centimetri cubici la differenza dei volumi dei palloni (96). Costruendo allora un tubo di vetro chiuso, il cui volume esterno sia p centimetri, si sospende all'uncino del più piccolo pallone. Dopo aversi così procurato un sistema rigorosamente di egual volume

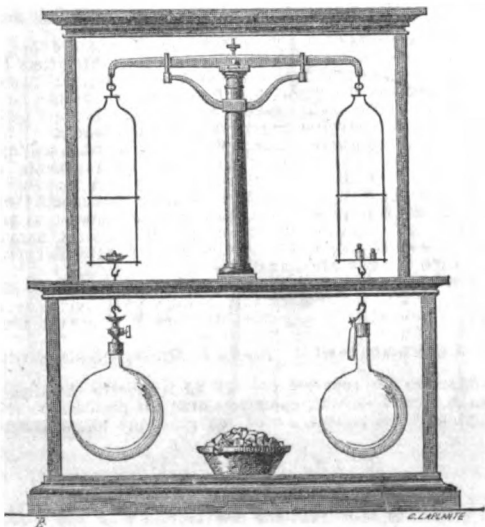



Fig. 219.

del pallone di cui si deve far uso, si esperimenta su questi come è stato detto (295), pesandolo successivamente vuoto, pieno di aria e del gaz di cui si cerca la densità; si abbia però cura in ciascuna pesata di fargli equilibrio col secondo pallone, come mostra la figura 219. Di più, i due palloni sono chiusi in una cassa a vetri di cui si è disseccata l'aria con calce viva. Per cotale disposizione le perdite di peso nell'aria essendo eguali dalle due parti, è evidente che non si ha a fare alcuna correzione per le pesate nell'aria.

Di più, onde evitare le correzioni di dilatazione del vetro e del gas sui quali si esperimenta, abbiasi cura di riempire il pallone successivamente di aria e di gas alla temperatura di zero. Perciò il pallone è è posto in un vaso pieno di ghiaccio, come mostra la figura 220. Là,

si avvita sul robinetto del pallone un secondo robinetto A a tre aperture, il quale fornisce il mezzo di far comunicare a volontà il pallone ora con una macchina pneumatica per mezzo di un tubo di caoutchouc D ed ora con dei tubi M ed N, nei quali il gas è condotto da un tubo C. I tubi M ed N contengono diverse sostanze destinate, le une a disseccare il gas, le altre a purificarlo, cioè a trattenere i gas che potrebbero essere mescolati con esso.

Ciò posto, il robinetto A essendo in tale posizione che non vi sia comunicazione che colla macchina pneumatica, si fa il vuoto nel pallone; poi mediante lo stesso robinetto, la comunicazione essendo interrotta colla macchina, ma stabilita coi tubi M,N, il gas viene a riempire il pallone. Però siccome non si può praticare il vuoto assoluto in questo, nel quale rimane sempre un po' di aria, si ricomincia a fare il vuoto per poi tornare a lasciare entrare del gas, la quale operazione

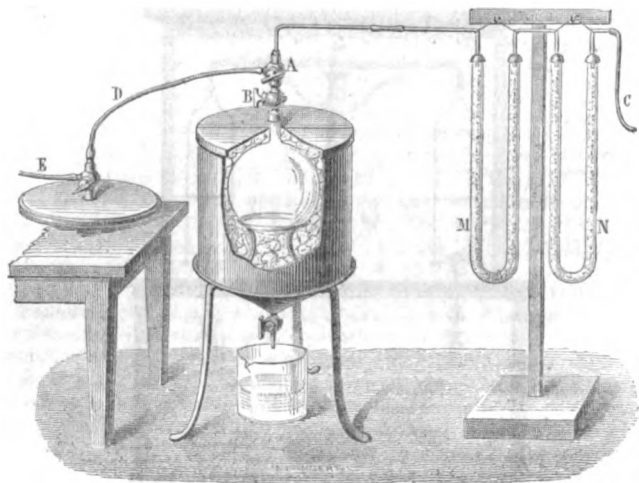



Fig. 220.

si ripete più volte finchè si giudica che tutta l'aria sia espulsa. Facendosi finalmente il vuoto per l'ultima volta, un barometro differenziale (fig. 103, pag. 115) che comunica coll'apparecchio per mezzo del tubo E, fa conoscere la forza elastica e del gas rarefatto che rimane ancora nel pallone. Chiudendo allora il robinetto B e svitando il robinetto A, si ritira il pallone dal ghiaccio, si asciuga con cura e si pesa vuoto nella bilancia sovraddescritta (fig. 219).

Avendo ottenuto in questa prima pesata un peso p, si ripone il pallone nel ghiaccio, si rimette il robinetto A, e si fa giungere in esso il gas, avendo cura di lasciare i robinetti aperti abbastanza lungo tempo perchè esso prenda nel pallone la pressione esterna H, segnata dal barometro. Se allora si chiude il robinetto B, si leva A, si ritira il pallone dal ghiaccio colle stesse precauzioni di prima, e che si pesi di nuovo, si trova un peso P; di modo che la differenza $P - p$ delle due pesate è il peso del gas contenuto nel pallone a zero e sotto la pressione $H - e$. Diciamo sotto la pressione $H - e$ e

non alla pressione H, giacchè nella prima pesata il pallone conteneva già lo stesso gas alla pressione e.

Per determinare il peso x dello stesso volume di gas alla pressione 760, i pesi essendo proporzionali alle pressioni, si ha

$$\frac{x}{P-p}=\frac{760}{H-e}, \text{ da cui } x=\frac{760\,(P-p)}{H-e}.$$

Finalmente ricominciando identicamente le stesse pesate coll'aria, cioè pesando dapprima il pallone vuoto, e poscia pesandolo pieno di aria secca a zero e rappresentando colle stesse lettere usate qui sopra la quantità della stessa specie, si trova che il peso dell'aria contenuta nel pallone a zero e sotto la pressione 760 è dato dalla formola

$$x'=\frac{760\,(P'-p')}{H'-e'}.$$

Se si divide il peso del gas per il peso dell'aria, si ottiene per il peso specifico cercato

$$D=\frac{x}{x'}=\frac{(P-p)\,(H'-e')}{(P'-p')\,(H-e)}.$$

Se l'altezza del barometro non avesse subito variazioni durante l'esperienza, e se nei due casi si fosse fatto il vuoto allo stesso grado, cioè se $e=e'$, si ha

$$D=\frac{P-p}{P'-p'}.$$

297. **Densità dei gas che intaccano l'ottone.** — Pei gas che intaccano l'ottone, come il cloro, per esempio, non si può far uso di un pallone a robinetto. Si fa in tal caso uso di una boccetta a turacciolo smerigliato, di cui si è determinata prima la capacità pesandola piena di acqua, e nella quale si fa giungere il gas con un tubo ricurvo che discende fino al fondo. Quando si giudica che tutta l'aria sia espulsa, si ritira il tubo e si chiude la boccetta. Pesando allora quest'ultima piena di cloro, sia P il peso che si ottiene; sia egualmente p il peso della boccetta piena d'aria. La differenza $P-p$, è evidentemente l'eccesso del peso del cloro su quello dell'aria a volume eguale. Ora la capacità della boccetta essendo conosciuta, se ne deduce il peso dell'aria che contiene, e questo peso aggiunto alla differenza $P-p$ sarà il peso del cloro. Non resta quindi che a dividere il peso del gas per quello dell'aria, avendo cura però di fare le necessarie correzioni di temperatura e di pressione, onde ridurre i due pesi allo stesso volume, alla temperatura di 0 ed alla pressione 0,760.

Densità dei gas a zero ed alla pressione $0^m,76$, presa per unità quella dell'aria.

Gas	Densità	Gas	Densità
Aria	1,0000	Acido solfidrico	1,1912
Idrogeno	0,0693	Acido cloridrico	1,2474
Idrogeno protocarbonato	0,559	Protossido d'azoto	1,5269
Gas ammoniaco	0,5967	Acido carbonico	1,5290
Ossido di carbonio	0,9569	Cianogeno	1,8064
Azoto	0,9714	Acido solforoso	2,2474
Biossido d'azoto	1,0388	Cloro	3,4216
Ossigeno	1,1056	Acido iodidrico	4,443

298. **Pesi specifici dei gas riguardo all'acqua.** — Si è già veduto che il peso specifico dell'aria riguardo all'acqua (129) è il quoto del peso di un litro d'aria a zero per il peso di un litro d'acqua a 4 gradi, cioè $\frac{1^{gr},293}{1000}=0,001293$. Quanto ai pesi specifici degli altri gas riguardo

all'acqua, si determinano moltiplicando le densità già ottenute per il numero 0,001293. Infatti se si rappresenta con a il peso di un litro d'aria a zero e sotto la pressione 760 millimetri, e con a' il peso di un litro di gas qualunque, per es. di idrogeno, nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione, il peso specifico dell'aria riguardo all'acqua è $\frac{a}{1000}$, e quello dell'idrogeno riguardo all'aria è $\frac{a'}{a}$, cioè il numero 0,0693 contenuto nella tavola del paragrafo precedente. Ora, il prodotto delle frazioni $\frac{a}{1000}$ e $\frac{a'}{a}$ è $\frac{a'}{1000}$, il quale è appunto il peso specifico dell'idrogeno relativamente all'acqua.

L'impiego, nei calcoli, del peso specifico dei gas riguardo all'acqua offre il vantaggio di dare immediatamente in chilogrammi il peso del litro di gas che si considera. Per esempio, nel calcolo dato di sopra, se si moltiplica il numero 0,0693, che rappresenta il peso specifico dell'idrogeno per rapporto all'aria pel numero 0,001293, che è il peso specifico dell'aria riguardo all'acqua, il prodotto $0^{chil},0000896$, o $0^{gr},0896$ è il peso di un litro di idrogeno a zero e sotto la pressione di 760 millimetri.

CAPITOLO V.

CANGIAMENTI DI STATO, VAPORI

299. **Fusione, sue leggi.** — Finora dei diversi fenomeni presentati dai corpi sotto l'influenza del calorico non trattammo che della loro dilatazione. Ora, considerando dapprima solamente i solidi, è facile riconoscere che questa dilatazione ha un limite. Infatti, di mano in mano che un corpo assorbe una maggior quantità di calorico, la forza ripulsiva che questo esercita fra le molecole aumenta e giunge un istante in cui l'attrazione molecolare è insufficiente a trattenere il corpo allo stato solido. Un nuovo fenomeno allora si produce; avvi *fusione*, vale a dire passaggio dallo stato solido allo stato liquido per l'influenza del calorico.

Tuttavia, molte sostanze, come la carta, il legno, la lana, alcuni sali non fondonsi sotto l'azione di una temperatura elevata, ma sono decomposte. Fra tutti i corpi semplici un solo finora non ha potuto essere fuso dall'azione delle più intense sorgenti di calore, ed è il carbonio. Tuttavia assoggettandolo all'azione d'una fortissima corrente elettrica, Despretz arrivò ad ammollire questo corpo fino a renderlo flessibile, il che indica uno stato vicino alla fusione.

L'esperienza dimostra che la fusione dei corpi è costantemente soggetta alle due leggi seguenti:

1.ª *Ogni corpo entra in fusione ad una temperatura determinata, invariabile per ogni sostanza, se la pressione è costante.*

2.ª *Qualunque sia l'intensità di una sorgente di calore, dal momento che la fusione incomincia, la temperatura cessa d'innalzarsi e rimane costante fintantochè la fusione sia completa.*

Temperature di fusione di diverse sostanze.

Sostanza	Temperatura
Mercurio	— 40°
Ghiaccio	0
Cloruro di calcio idrato	29
Sego	+ 33
Fosforo	44
Spermaceti	49
Potassio	55
Acido margarico	57
Stearina	60
Cera gialla	61
Cera bianca	69
Acido stearico	70
Sodio	90
Lega di d'Arcet (1 piombo, 1 stagno, 4 bismuto)	+ 94°
Solfo	111
Stagno	228
Bismuto	264
Piombo	326
Zinco	360
Antimonio	432
Argento	1000
Ghisa bianca	1100
Ghisa grigia	1200
Oro	1250
Acciaio	1350
Ferro	1500
Platino	1910 a 2000

Hopkins, in Inghilterra, ha recentemente constatato mediante esperienza che la temperatura di fusione si innalza in modo sensibile di mano in mano che la pressione aumenta. I corpi sui quali ha egli esperimentato sono il solfo, la cera, la stearina e lo spermaceti. M. W. Thomson ha osservato il contrario pel ghiaccio; vale a dire che il suo punto di fusione si abbassa quando la pressione cresce. Da ciò rilevasi che la temperatura di fusione, per uno stesso corpo, non è fissa, come si è creduto fin' ora, ma varia colla pressione.

300. Calorico latente. — Se nel passaggio d'un corpo dallo stato solido allo stato liquido la temperatura rimane costante per tutta la durata della fusione (299, 2.°), qualunque sia l'intensità della sorgente di calore, bisogna conchiudere che i corpi per cangiare di stato assorbono una quantità di calorico considerevole, il cui unico effetto è quello di mantenerli allo stato liquido. Questa quantità di calorico, che non agisce sul termometro, e che in certo modo si combina colle molecole dei corpi, chiamasi *calorico latente* o *calorico di fusione.*

L'esperienza seguente serve a dare un'idea esatta di ciò che bisogna intendere per calorico latente. Se si mescola dapprima 1 chilogrammo d'acqua a zero collo stesso peso d'acqua a 79 gradi, si hanno immediatamente 2 chil. d'acqua a 39 gradi $\frac{1}{2}$, vale a dire a una temperatura media tra quella dei due liquidi mescolati; che è quanto facilmente potevasi prevedere, poichè amendue erano della stessa natura ed in quantità eguale. Ma se si mescola 1 chilogrammo di ghiaccio triturato con un egual peso d'acqua a 79 gradi, il ghiaccio tosto si fonde, e si ottengono 2 chilogrammi d'acqua a zero. Pertanto si vede, che senza cangiar temperatura ed unicamente per fondersi, 1 chilogrammo di ghiaccio assorbe la quantità di calorico necessaria ad elevare la temperatura di 1 chilogrammo d'acqua da zero a 79 gradi. Questa quantità di calorico rappresenta dunque il calorico di fusione del ghiaccio od il calorico latente dell'acqua.

Ogni corpo ha un calorico latente particolare; quanto prima vedremo come lo si determini mediante il calcolo.

301. Soluzione. — Un corpo si *scioglie* quando si liquefa per l'effetto dell'affinità che si esercita tra le sue molecole e quelle d'un liquido. La gomma arabica, lo zuccaro, la maggior parte dei sali, si sciolgono nell'acqua.

Durante la soluzione, come durante la fusione, evvi assorbimento di una quantità maggiore o minore di calorico latente. Questo avviene perchè la soluzione di un sale determina in generale un abbassamento di temperatura. Tuttavia si dà il caso che per certe soluzioni la temperatura non si abbassi, anzi si elevi. Questo si spiega osservando che in questo caso si producono due effetti simultanei e contrari. Il primo è il passaggio dallo stato solido allo stato liquido, effetto che dà origine ad un abbassamento di temperatura; il secondo è la combinazione del corpo sciolto col liquido. Ora ogni combinazione chimica sviluppa calore. Per conseguenza, secondo che l'uno dei due effetti predomini, o secondo che sieno eguali, evvi produzione di freddo o caldo, oppure la temperatura rimane costante.

302. **Solidificazione, sue leggi.** — La *solidificazione* o *congelazione* è il passaggio dallo stato liquido allo stato solido. Questo fenomeno è sempre soggetto alle due leggi seguenti, che sono le reciproche di quelle della fusione e che si constatano coll'esperienza:

1.° *La solidificazione si produce per ogni corpo ad una temperatura fissa, che è precisamente quella della sua fusione;*

2.° *Dal momento in cui comincia la solidificazione, sino a quello in cui si compie, la temperatura rimane costante.*

Questa seconda legge dipende dal rendersi libero, al momento della solidificazione, il calorico latente assorbito durante la fusione.

Parecchi liquidi, come l'alcool, l'etere, non si solidificano nemmeno sotto l'azione dei freddi più intensi ai quali si poterono sottomettere. Però, mediante un freddo prodotto da una mescolanza di protossido d'azoto liquefatto, d'acido carbonico solido e di etere, Despretz giunse a dare all'alcool una consistenza tale che il vaso in cui era contenuto potè essere capovolto senza che il liquido ne uscisse.

303. **Cristallizzazione.** — Generalmente i corpi che lentamente passano dallo stato solido allo stato liquido, prendono forme geometriche determinate, che si chiamano *cristalli*, come sarebbero quelle di tetraedri, di cubi, di prismi, di romboedri. Se il corpo che si solidifica, è in fusione, come il solfo, il bismuto, dicesi che la cristallizzazione si fa per *via secca;* ma se il corpo è in soluzione in un liquido, si dice che la cristallizzazione si fa per *via umida*. Lasciando lentamente evaporare i liquidi, che tengono in soluzione dei sali, questi si cristallizzano. La neve, il ghiaccio che si forma, i sali, ci offrono esempi di cristallizzazione.

304. **Formazione del ghiaccio.** — L'acqua distillata si solidifica a zero, e prende allora il nome di *ghiaccio;* ma la congelazione avviene solo lentamente, perchè la parte che si solidifica cede il suo calorico latente alla rimanente massa liquida.

Il ghiaccio offre il fenomeno rimarchevole d'essere men denso dell'acqua. Abbiam già visto infatti, che pel raffreddamento l'acqua si contrae soltanto fino a 4 gradi (289); partendo da questo punto sino a zero essa si dilata. Ora questo incremento di volume dura e cresce ancora all'istante della congelazione; e si trova che il volume del ghiaccio a zero è 1,075 volte quello dell'acqua a 4 gradi. Pel fatto di questa dilatazione, la densità del ghiaccio è solamente 0,930 di quella dell'acqua; e questa è la causa per cui galleggia alla superficie di questo liquido.

L'incremento di volume che piglia il ghiaccio formandosi è accompagnato da una considerevole forza espansiva, che fa scoppiare i

vasi che lo contengono. Le pietre gelive che screpolano dopo il gelo ripetono questo effetto dall'acqua che è penetrata nei loro pori, e vi si è congelata.

Williams, in Inghilterra, per dimostrare la forza espansiva del ghiaccio collocò in un'atmosfera inferiore di parecchi gradi a zero una bomba piena d'acqua, dopo di averne saldamente turato l'orifizio a mezzo di un turacciolo di legno. Al momento della congelazione, questo turacciolo venne lanciato con forza ad una gran distanza, e si accumulò un cercine di ghiaccio sugli orli dell'orifizio.

L'acqua non è la sola sostanza che subisce un aumento di volume solidificandosi, e che quindi sia più denso allo stato liquido che allo stato solido. La ghisa, il bismuto, l'antimonio presentano gli stessi fenomeni. Molte sostanze invece, come il mercurio, il fosforo, lo zolfo, la stearina, al momento della solidificazione si contraggono.

305. **Ritardo della congelazione dell'acqua.** — La temperatura della congelazione dell'acqua è ritardata dai sali o dalle altre sostanze che essa tiene in soluzione. L'acqua del mare, per es., si solidifica soltanto a — 2°,5.

Il punto di solidificazione dell'acqua pura può essere abbassato di parecchi gradi, quando essa sia privata dell'aria, che tiene ordinariamente in soluzione, e che la si preservi da qualsivoglia agitazione. Infatti, in un vaso circondato da una mescolanza frigorifera, e collocato sotto il recipiente d'una macchina pneumatica, per isvolgerne l'aria, l'acqua può giungere alla temperatura di — 12 gradi ed anche ad una inferiore senza solidificarsi. Ma se allora si imprime alla sua massa una leggera scossa, una parte del liquido subito si congela, e si osserva il notevole fenomeno che la massa rimasta liquida ascende tostamente a zero. Quest'elevazione di temperatura è dovuta al calorico latente, che è divenuto libero per la formazione del ghiaccio.

Anche un'agitazione troppo rapida può opporsi alla congelazione dei liquidi. Lo stesso dicasi di tutte le azioni che impedendo il movimento delle molecole impediscono loro di raggrupparsi nelle condizioni necessarie allo stato solido. In tal modo Despretz potè raffreddare dell'acqua collocata entro tubi assai capillari fino a — 20 gradi senza che si congelasse. Questa esperienza può servire a spiegare come le piante, entro certi limiti, resistono al gelo, giacchè i vasi che contengono l'umore sono assai capillari. Finalmente, Mousson, in Germania, ha trovato che una potente compressione non solo può ritardare la congelazione dell'acqua, ma impedire che sia completa.

306. **Mescolanze frigorifere.** — L'assorbimento del calorico allo stato latente nei corpi che passano dallo stato solido allo stato liquido (300), è stato utilizzato per produrre freddi artificiali più o meno intensi. Questo risultato si ottiene mescolando sostanze che hanno affinità le une colle altre, e delle quali una almeno è solida, come sarebbe acqua e un sale, ghiaccio e un sale, un acido ed un sale. Allora essendo la fusione accelerata dall'affinità chimica, la porzione che si fonde toglie alla residua mescolanza una gran quantità di calorico, che diventa latente; donde risulta un abbassamento di temperatura qualche volta assai considerevole.

La tavola seguente indica le proporzioni e la natura delle sostanze da adoperarsi per ottenere un determinato abbassamento di temperatura.

SOSTANZE	PARTI in peso	RAFFREDDAMENTO
Solfato di soda . . . . Acido cloridrico	8 5	+ 10° a — 17°
Ghiaccio frantumato o neve . . . . . Sal marino	2 1	+ 10° a — 18°
Solfato di soda . . . . Acido azotico allungato.	3 2	+ 10° a — 19°
Solfato di soda . . . . Azotato d'ammoniaca. . . . . Acido azotico allungato.	6 5 4	+ 10° a — 26°
Fosfato di soda. . . . . Acido azotico allungato.	9 4	+ 10° a — 29°

Le mescolanze frigorifere sono frequentemente utilizzate in chimica, in fisica, nell'industria e nell'economia domestica. Da alcuni anni si fabbrica, sotto il nome di *ghiacciaie delle famiglie*, un piccolo apparato per ottenere del ghiaccio in tutte le stagioni, mediante una soluzione di solfato di soda nell'acido cloridrico: 6 chilogrammi di questo sale e 5 d'acido bastano per dare 5 a 6 chilogrammi di ghiaccio in un'ora. L'apparato consiste in un cilindro metallico diviso in quattro scompartimenti concentrici. Nel centro evvi l'acqua che si vuol congelare; nello scompartimento successivo la mescolanza frigorifera; nel terzo ancor dell'acqua; e finalmente nell'ultimo un corpo poco conduttore, quale il cotone, destinato ad opporsi all'assorbimento del calorico esterno. Onde meglio utilizzare una mescolanza frigorifera conviene formarla soltanto successivamente.

VAPORI; MISURA DELLA LORO TENSIONE

307. **Vapori.** — Abbiamo già visto (126) chiamarsi *vapori* i fluidi aeriformi, in cui si trasformano per l'assorbimento del calorico molti liquidi, quali sono l'etere, l'alcool, l'acqua, il mercurio. Diconsi liquidi *volatili* quelli che possedono la proprietà di poter passare allo stato aeriforme, e liquidi *fissi* quelli che non danno vapore a nessuna temperatura, tali sono gli oli grassi. Vi sono corpi solidi, come il ghiaccio, l'arsenico, la canfora, ed in generale le materie odorifere, che danno immediatamente vapori senza passare allo stato liquido.

I vapori sono trasparenti come i gas, e generalmente incolori; si danno solamente pochi liquidi colorati, i cui vapori sono pure colorati.

308. **Vaporizzazione.** — Il passaggio d'un corpo dallo stato liquido allo stato di vapore si indica col nome generale di *vaporizzazione;* ma s'intende specialmente per *evaporazione* ogni produzione lenta di vapore alla superficie di un liquido, e per *ebollizione* una produzione rapida di vapore nella stessa sua massa. Si vedrà quanto prima che alla pressione ordinaria dell'atmosfera, l'ebollizione si produce, come la fusione, soltanto a una determinata temperatura. Lo stesso non avviene dell'evaporazione, che ha luogo per uno stesso liquido a temperature assai

diverse; tuttavia pare che al di là d'un certo raffreddamento cessi ogni evaporazione. Il mercurio, per es., non dà più vapori al disotto — 10 gradi; l'acido solforico al disotto di 30 gradi.

309. **Forza elastica dei vapori.** — I vapori, come i gas, hanno una forza elastica, in virtù della quale esercitano sulle pareti dei vasi che li contengono una pressione più o meno considerevole. Per dimostrare la tensione dei vapori e nello stesso tempo renderla sensibile all'occhio, si empie per metà di mercurio un tubo di vetro ricurvo a sifone (fig. 221); quindi, introdotta una goccia di etere nel ramo più corto che è chiuso, si immerge il tubo in un bagno d'acqua a 45 gradi circa. Allora, abbassandosi il mercurio lentamente nel ramo più corto, lo spazio AB si riempie d'un gas, che ha tutta l'apparenza dell'aria, e la forza elastica del quale fa evidentemente equilibrio alla colonna di mercurio CD, come pure alla pressione atmosferica che si esercita in D. Ora questo gas altro non è che vapore di etere. Se si raffredda l'acqua del vaso, o se si estrae il tubo dal bagno, locchè produce lo stesso effetto, si vede sparir rapidamente il vapore che empie lo spazio AB, e di nuovo formarsi la goccia di etere. Se al contrario vieppiù si riscalda l'acqua del bagno, il livello del mercurio si abbassa al disotto del punto B, il che indica un aumento di tensione.

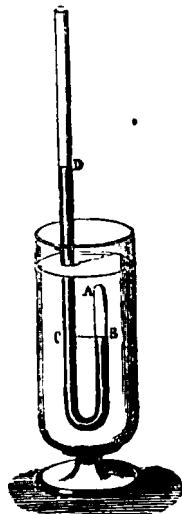



Fig. 221.

310. **Formazione dei vapori nel vuoto.** — Nell'esperienza precedente il passaggio allo stato di vapore è lento. Lo stesso accade quando un liquido volatile è esposto liberamente all'aria. In ambedue i casi la pressione atmosferica è un ostacolo alla evaporazione; ma così non succede quando i liquidi sono situati nel vuoto. Non incontrando allora la forza elastica dei vapori veruna resistenza, la loro formazione è istantanea. Per dimostrarlo si immergono parecchi tubi barometrici in una medesima vaschetta (fig. 222). Empiti questi tubi di mercurio, se ne fissa uno, per es. il tubo A, acciocchè serva di barometro, quindi si introducono alcune gocce d'acqua, d'alcool e di etere, rispettivamente nei tubi B, D, E. Si osserva che all'istante in cui in ciascuno di questi tubi il liquido penetra nel vuoto barometrico, il livello del mercurio si abbassa come mostra la figura. Ora, non è il peso del liquido introdotto che deprime il mercurio, poichè questo peso è una piccolissima frazione di quello del mercurio spostato. Fuvvi adunque per ogni liquido una produzione istantanea di vapore, la forza elastica del quale abbassò la colonna di mercurio.

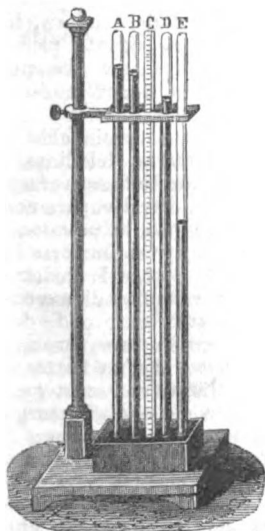



Fig. 222 (a. = 88).

L'esperienza precedente mostra pure che la depressione del mercurio non è eguale in tutti e tre i tubi; essa è maggiore nel tubo in cui è l'alcool che in quello in cui è l'acqua, e ancor maggiore che negli altri due, nel tubo in cui trovasi l'etere. Noi possiamo quindi fin d'ora ammettere le due leggi seguenti sulla formazione dei vapori:

1.ª *Nel vuoto tutti i liquidi volatili vaporizzano istantaneamente.*

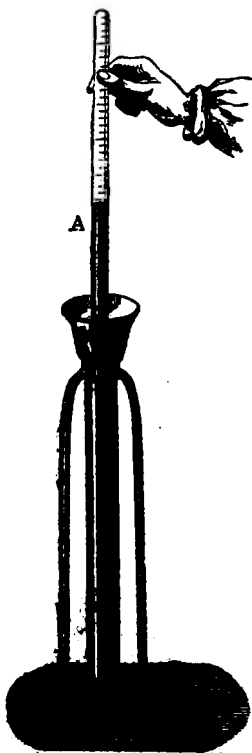
2.ª *A pari temperatura i vapori di diversi liquidi non possiedono la stessa forza elastica.*

Per es., a 20 gradi la tensione del vapore di etere è approssimativamente 25 volte maggiore di quella del vapore d'acqua.

311. **Vapore allo stato di saturazione, tensione massima.** — Introducendo in quantità piccolissima nel tubo di un barometro un liquido volatile, come l'etere, esso vaporizza istantaneamente e completamente, e la colonna di mercurio non raggiunge tutta quella depressione che può pigliare; poichè, se si introduce di nuovo una piccolissima quantità d'etere, si vede aumentare la depressione. Ora così continuando giunge un istante in cui l'etere che penetra nel tubo, cessa di vaporizzare e rimane allo stato liquido. Adunque v'è per una determinata temperatura un limite alla quantità di vapore che può formarsi in un dato spazio. Per indicarlo si dice che questo spazio è *saturo.*

Fig. 223.

Osserviamo inoltre che dal momento in cui la vaporizzazione dell'etere cessa, cessa pure la depressione del mercurio. Vi è dunque un limite anche per la tensione del vapore, limite che, come dimostreremo quanto prima (314), varia colla temperatura, ma che per una determinata temperatura è *indipendente dalla pressione*.

Onde far vedere che in uno spazio chiuso, saturo di vapore e che contiene del liquido *in eccesso,* rimanendo costante la temperatura, evvi una *tensione massima,* che il vapore non può oltrepassare, qualunque sia la pressione, si fa uso di un tubo barometrico immerso in una vaschetta profonda (fig. 223). Introdotta in questo tubo, dapprima riempito di mercurio, una quantità d'etere sufficiente onde dopochè la camera barometrica è satura, rimanga ancora del liquido in eccesso, si nota l'altezza del mercurio nel tubo mediante una scala graduata sul tubo stesso. Ora sia che s'immerga di più il tubo, il che tende a comprimere il vapore, sia che lo si sollevi, il che tende a dilatarlo, l'altezza della colonna di mercurio rimane costante. La tensione del vapore rimane adunque la stessa in ambedue i casi, poichè la depressione non aumenta nè diminuisce. Da ciò si conchiude che quando il vapore contenuto in uno spazio saturo è compresso, una parte

torna allo stato liquido; e che se al contrario la pressione diminuisce, una parte del liquido rimasto in eccesso vaporizza, e lo spazio occupato dal vapore di nuovo si satura; ma sì nell'uno che nell'altro caso la tensione e la densità del vapore rimangono costanti.

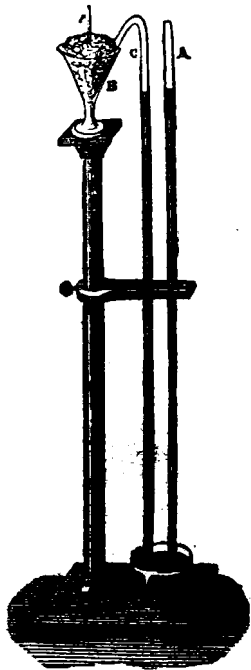
312. **Vapori non saturi.** — Secondo ciò che precede, i vapori presentansi sotto due stati ben distinti, secondo che essi sono o no saturi. Nel primo stato, quello di saturazione, quello in cui sono a contatto col loro liquido, essi diferiscono completamente dai gas, poichè, per una data temperatura, essi non possono essere compressi nè dilatati, la loro forza elastica e la loro densità rimanendo costanti.

Nel secondo stato, al contrario, quello di non saturazione, in cui essi non sono a contatto col loro liquido, sono perfettamente paragonabili ai gas, di cui possiedono tutte le proprietà. In fatti se ripetesi l'esperienza qui sopra (fig. 223), non introducendo nel tubo che una piccolissima quantità di etere, in modo che il vapore che si forma non raggiunga lo stato di saturazione, e se sollevasi allora leggermente il tubo, vedesi il livello del mercurio alzarsi, ciò che indica che la forza elastica del vapore è diminuita. Così pure immergendo il tubo maggiormente, il livello del mercurio si abbassa. Il vapore dunque si comporta qui interamente come un gas, diminuendo la sua tensione quando il volume aumenta, e reciprocamente; e siccome, in ambedue i casi, si osserva che il volume che prende il vapore è in ragione inversa della pressione, se ne conchiude che *i vapori in istato di non saturazione sono sottoposti alla legge di Mariotte.*

Riscaldando finalmente un vapore in istato di non saturazione, rimarcasi che il suo accrescimento di volume è dello stesso ordine di quello dei gas, e che il numero 0,00367 che rappresenta il coefficente di dilatazione dell'aria, può essere preso sensibilmente per quello dei vapori.

Riassumendo ciò che precede, vedesi dunque che i vapori in istato di non saturazione sono perfettamente paragonabili ai gas, e che si possono applicar loro tutte le formule relative alla compressibilità e alla dilatabilità di questi ultimi (152 e 292). Ma non bisogna dimenticare che vi ha sempre un limite di pressione o di raffreddamento pel quale i vapori allo stato di non saturazione passano allo stato di saturazione, e che essi hanno allora un maximum di tensione e di densità che non può essere oltrapassato se non in quanto che i vapori, essendo a contatto col loro liquido, la loro temperatura s'innalza.

Fig. 224.

313. **Tensione del vapore d'acqua sotto zero.** — Per misurare la forza elastica del vapore d'acqua sotto zero, Gay-Lussac fece uso di due tubi barometrici pieni di mercurio ed immersi in una medesima vaschetta (fig. 224). Uno di essi, dritto e perfettamente privo d'aria e

d'umidità, serve a misurare la pressione atmosferica; l'altro è curvato in modo che una parte della camera barometrica pesca in una mescolanza frigorifera (306). Ciò posto, se si introduce un po' d'acqua nel tubo curvo, si osserva che il livello del mercurio in questo tubo è più basso che nel tubo A d'una quantità che varia, variando la temperatura della mescolanza frigorifera.

A 0° la depressione è in millimetri . .	4,60
— 10	1,96
— 20	0,84
— 30	0,30

Queste depressioni, che necessariamente dipendono dalla tensione del vapore nella camera barometrica BC, mostrano che a temperature assai basse avvi ancora del vapor d'acqua nell'aria.

Nell'esperienza precedente la parte B e la parte C della camera barometrica in cui trovasi il vapore, non partecipano ambedue alla temperatura della mescolanza frigorifera: questo è vero, ma si vedrà quanto prima (318) che quando due vasi, tra loro comunicanti, sono a disuguali temperature, la tensione del vapore è eguale in amendue e corrisponde sempre alla temperatura più bassa.

314. Tensione del vapore d'acqua tra zero e 100 gradi. — 1.° *Processo di Dalton.* — Dalton, fisico inglese, morto nel 1844, misurò la forza elastica del vapore da zero a 100 gradi, mediante l'apparato seguente. Due tubi barometri A e B (fig. 225) sono immersi in un pentolino di ghisa, pieno di mercurio, e collocato su un fornello. Il barometro B è completamente privo d'aria e d'umidità, e nel barometro A si introduce una piccola quantità d'acqua. Questi due barometri sono tenuti in un vaso cilindrico di vetro pieno d'acqua, nel centro del quale pesca un termometro T che dà la temperatura del liquido. Riscaldando gradatamente il pentolino, e per conseguenza l'acqua del vaso, quella che è nel tubo A si vaporizza e, di mano in mano che la tensione del vapore aumenta, il mercurio si abbassa. Notando, di grado in grado, sopra una scala E, la depressione che ha luogo nel tubo A, al disotto del livello B, Dalton costrusse pel primo una tavola delle forze elastiche del vapore d'acqua da zero sino a 100 gradi.

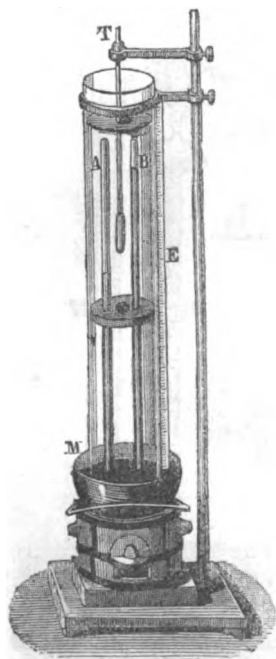



Fig. 225 (a. = 1m,07).

2.° *Processo di Regnault.* — L'apparecchio di Dalton offre poca precisione, giacchè il liquido del vaso di vetro non può essere mantenuto esattamente alla stessa temperatura in tutta la sua altezza, e perciò non si può avere la temperatura precisa del vapore. Regnault

ha modificato questo apparecchio sostituendo al vaso una cassa di latta MN (fig. 226) il cui fondo porta due tubulature nelle quali le estremità superiori dei due tubi A e B si impegnano mediante foglie di caoutchouc. Il tubo a vapore B è collegato ad un pallone *a*, di circa mezzo litro di capacità, mediante una tubulatura di ottone a tre aperture tubulari rappresentate in O alla diritta del disegno. Il terzo ramo

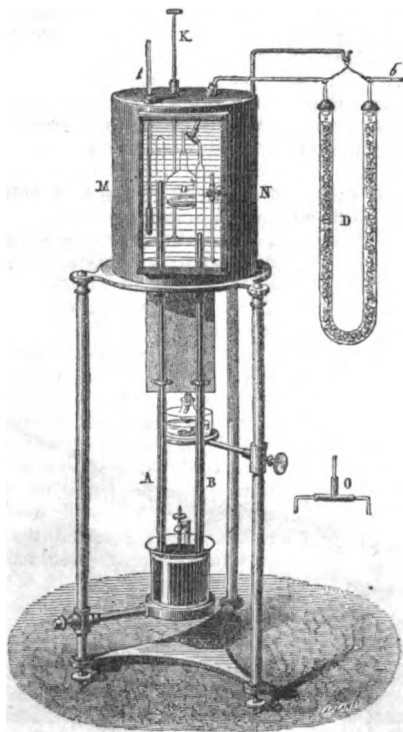



Fig. 226.

di questa tubulatura con mastice è unito ad un tubo di vetro il quale mette capo ad un altro tubo D riempito di pietra pomice imbevuta di acido solforico, e comunicante direttamente colla macchina pneumatica per un tubo *b*.

Onde esperimentare con questo apparecchio, si introduce nel pallone *a* una piccola quantità di acqua, della quale si fa distillare una porzione nel tubo B scaldando leggermente il pallone. Facendo allora il vuoto colla macchina pneumatica, l'acqua distilla in un modo continuo dal pallone e dal tubo barometrico verso il tubo D che condensa i vapori. Quando, dopo di avere così evaporizzati più grammi di acqua, si giu-

dica che tutta l'aria contenuta nell'apparecchio è stata espulsa, si salda alla lampada il tubo capillare che collega il tubo B col pezzo a tre tubulature. Il tubo B essendo allora chiuso e contenendo ancora un po' d'aria, si esperimenta come coll'apparecchio di Dalton.

Per ciò si riempie la cassa MN di acqua, che si scalda dolcemente con una lampada ad alcool posta al disotto e separata dai tubi con una tavoletta di legno. Col mezzo di un agitatore K, si mescolano continuamente i diversi strati del liquido, onde ottenere una temperatura uniforme per tutte le parti del bagno nel quale sono posti i due tubi barometrici. Una lamina di vetro fissa ad una parete della cassa, lascia osservare col mezzo del catetometro, l'altezza del mercurio nei tubi; ed è dalla differenza di queste altezze, ricondotte allo zero, che si deduce la tensione del vapore. Mercè questo apparecchio, Regnault ha misurato con precisione la forza elastica del vapore di acqua da zero a 50 gradi.

315. **Tensione del vapore d'acqua al disopra di 100 gradi, processo di Dulong e Arago.** — Si adoperarono due processi per misurare la forza elastica del vapore d'acqua a temperature superiori a 100 gradi, l'uno da Dulong ed Arago, nel 1830, l'altro da Regnault, nel 1844.

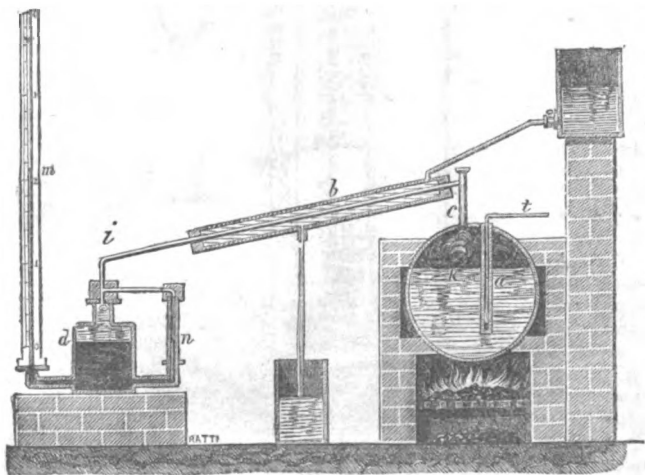



Fig. 227.

La figura 227 rappresenta una sezione verticale dell'apparecchio di cui fecero uso Dulong ed Arago nel 1830 per misurare la forza elastica del vapore d'acqua al disopra di 100 gradi. Quest'apparecchio consisteva in una caldaia *k* di rame, della capacità di 80 litri ed a pareti grossissime. Due canne da fucile *a*, delle quali una sola è visibile nel nostro disegno, pescavano nell'acqua della caldaia, alle pareti della quale erano desse saldamente fissate. Queste canne da fucile, chiuse alla loro parte inferiore, erano piene di mercurio, nel quale erano col-

locati dei termometri *t*, che facevano conoscere la temperatura dell'acqua e del vapore nella caldaia. La tensione del vapore si misurava per mezzo di un manometro ad aria compressa *m*, lo stesso che abbiamo descritto parlando della legge di Mariotte (fig. 99, pag. 110). Questo manometro era stato previamente graduato esperimentalmente, ed applicato ad una vaschetta di ghisa *d* piena di mercurio. Onde conoscere l'altezza del mercurio nella vaschetta, era questa in comunicazione, superiormente ed inferiormente, con un tubo di cristallo *n*, nel quale il livello era sempre lo stesso di quello nella vaschetta. Finalmente, un tubo di rame *i* faceva sì che la parte superiore della vaschetta *d* comunicasse con un tubo verticale *c*, che dipartivasi direttamente dalla caldaia e permetteva l'uscita al vapore. Il tubo *i* e la parte superiore della vaschetta *d* erano pieni d'acqua, che si manteneva costantemente ad una bassa temperatura, facendo circolare intorno al tubo una corrente d'acqua fredda, che effluiva da un serbatoio rappresentato alla destra del disegno.

Posto ciò, siccome il vapore che usciva dal tubo *c*, esercitava la sua pressione sull'acqua del tubo *i*, questa pressione si trasmetteva all'acqua ed al mercurio della vaschetta *d*, ed il mercurio saliva nel manometro. Prendendo di grado in grado le temperature segnate dai termometri ed osservando in pari tempo il manometro, Dulong ed Arago hanno così misurato direttamente la tensione del vapore d'acqua sino a 24 atmosfere. Mediante il calcolo la valutarono in seguito sino a 50.

316. **Tensione del vapore d'acqua al disopra e al disotto di 100 gradi, processo di Regnault.** — Il processo di Regnault permette di misurare la tensione del vapore, tanto al disotto che al disopra di 100 gradi. Questo processo consiste nel far bollire dell'acqua in un vaso, sotto una pressione conosciuta e nel misurare la temperatura alla quale si produce l'ebollizione. Appoggiandosi allora al principio, che al momento dell'ebollizione la forza elastica del vapore che si sviluppa è precisamente eguale alla pressione che il liquido sopporta (323), si conosce la tensione del vapore e la temperatura corrispondente, e quindi la quistione è risolta.

L'apparecchio si compone di un vaso di rame C (fig. 228), esattamente chiuso e riempito d'acqua fino ad un terzo circa. Quattro termometri attraversano il coperchio: due pescano nei primi strati del liquido, e gli altri due negli strati inferiori. Dal serbatoio C parte un tubo AB, che si adatta all'apertura d'un pallone di vetro M, della capacità di 24 litri e pieno di aria. Il tubo AB è circondato da un tubo D, nel quale circola una corrente d'acqua fredda, che effluisce da un serbatoio E. Dalla parte superiore del pallone M partono due tubi: l'uno comunica con un manometro ad aria libera O, vicino all'apparecchio; l'altro tubo HH', che è di piombo, comunica con una macchina pneumatica o con una tromba premente, secondo che si vuol rarefare o comprimere l'aria che è nel pallone. Finalmente, il serbatoio K, nel quale trovasi il pallone, è pieno d'acqua alla temperatura ambiente.

Posto ciò, supponiamo dapprima che si tratti di misurare la forza elastica del vapore d'acqua al disotto di 100 gradi. Si fissa l'estremità H' del tubo di piombo sul piatto di una macchina pneumatica, e mediante questa si rarefa l'aria nel pallone M, e per conseguenza nel vaso C. Riscaldando allora lentamente questo vaso, l'acqua ch'esso contiene entra in ebollizione ad una temperatura tanto più inferiore a 100 gradi quanto più venne rarefatta l'aria, cioè quanto più debole è la pres-

sione che si esercita sul liquido. D'altronde, condensandosi i vapori nel tubo AB, che viene reffreddato in modo costante, la pressione primitivamente indicata dal manometro non aumenta, il che dimostra che la tensione del vapore durante l'ebollizione rimane eguale alla pressione, che si esercita sul liquido.

Consultando allora da una parte il manometro e dall'altra i termometri, si determina la tensione del vapore ad una temperatura conosciuta. Lasciando poscia rientrare un po' d'aria nei tubi e nel vaso C onde aumentare la pressione, si fa una nuova osservazione e si continua per tal modo sino a 100 gradi.

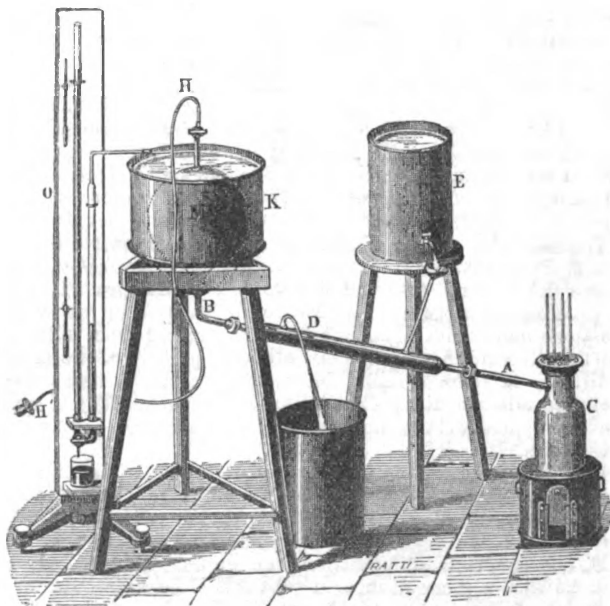



Fig. 228.

Se si tratta di misurare la forza elastica del vapore al disopra di 100 gradi, si mette l'orifizio H' in comunicazione con una tromba premente, mediante la quale si sottopone l'aria del pallone e del vaso C a pressioni successive superiori a quella dell'atmosfera. L'ebollizione si trova allora ritardata (323), e basta osservare simultaneamente il manometro ed i termometri per conoscere la tensione del vapore ad una temperatura superiore a 100 gradi.

Le due tavole seguenti fanno conoscere la tensione del vapor d'acqua, secondo Regnault, da — 10 a 100 gradi, e da 100 a 230 gradi. La prima tavola fu trovata per mezzo dell'apparato testè descritto.

La seconda tavola venne calcolata per mezzo della formola d'interpollazione

$$\log F = a + b\alpha^t + c\delta^t,$$

nella quale F rappresenta la forza elastica del vapore, t la sua temperatura, ed a, b, c, α, δ delle quantità costanti che si calcolano incominciando per determinare cinque forze elastiche, cioè cinque valori di F corrispondenti a temperature conosciute, il che dà luogo a tante equazioni quante sono le incognite.

Tensioni del vapore d'acqua da — 10 a 100 gradi, secondo Regnault.

TEMPERATURE	TENSIONI in millimetri di mercurio a zero	TEMPERATURE	TENSIONI in millimetri di mercurio a zero	TEMPERATURE	TENSIONI in millimetri di mercurio a zero	TEMPERATURE	TENSIONI in millimetri di mercurio a zero
— 10°	2,093	20°	17,391	50°	91,982	80°	354,643
— 5	3,131	25	23,550	55	117,478	85	433,041
0	4,600	30	31,548	60	148,791	90	525,450
+ 5	6,534	35	41,827	65	186,945	95	633,778
10	9,165	40	54,906	70	233,093	100	760,000
15	12,699	45	71,391	75	288,517		

Tensioni in atmosfere da 100° a 230°,9, secondo Regnault.

TEMPERATURE	NUMERO d'atmosfere	TEMPERATURE	NUMERO d'atmosfere	TEMPERATURE	NUMERO d'atmosfere	TEMPERATURE	NUMERO d'atmosfere
100,0	1	170,8	8	198,8	15	217,9	22
120,6	2	175,8	9	201,9	16	220,3	23
133,9	3	180,3	10	204,9	17	222,5	24
144,0	4	184,5	11	207,7	18	224,7	25
152,2	5	188,4	12	210,4	19	226,8	26
159,2	6	192,1	13	213,0	20	228,9	27
165,3	7	195,5	14	215,5	21	230,9	28

Queste tavole fanno vedere che la forza elastica del vapore d'acqua cresce assai più rapidamente della temperatura; ma questa legge non è conosciuta. L'esperienza ha inoltre insegnato che le sostanze in dissoluzione, come i sali, gli acidi, diminuiscono a parità di temperatura la forza elastica del vapore d'acqua, e la diminuiscono tanto maggiormente quanto più è concentrata la soluzione.

317. **Tensione dei vapori di diversi liquidi.** — Il vapore di acqua a cagione delle sue numerose applicazioni, è stato dapprima il solo che sia stato studiato dai fisici; ma Regnault, cogli stessi processi che gli servirono a misurare la forza elastica del vapore di acqua, ha pur determinato quella dei vapori di un certo numero di liquidi. La seguente tavola, che rende alcuni dei risultati ottenuti da questo scienziato, mostra, come a temperature eguali, i vapori dei diversi liquidi differiscano di tensione.

LIQUIDI	TEMPERATURE	TENSIONI in millimetri	LIQUIDI	TEMPERATURE	TENSIONI in millimetri
Mercurio . . .	0	0,02	Etere . . .	— 20	9
	50	0,11		0	182
	100	0,74		60	1728
				100	4920
Alcool . . .	0	13	Acido solforoso . . .	— 20	479
	50	220		0	1165
	100	1685		60	8124
Solfuro di carbonio .	— 20	43	Ammoniaca .	— 30	441
	0	132		— 20	4273
	60	1164		0	7709
	100	3320			

318. **Tensione in due vasi comunicanti a differenti temperature.** — Quando si mettono in comunicazione due vasi chiusi, contenenti uno stesso liquido, a diverse temperature, la tensione comune del vapore che si stabilisce in questi due vasi non è, come si potrebbe credere, la tensione media tra quelle già esistenti in ciascun vaso. Abbiansi, per es. due palloni, l'uno A (fig. 229), contenente dell'acqua mantenuta a zero nel ghiaccio che si fonde; l'altro B, contenente dell'acqua

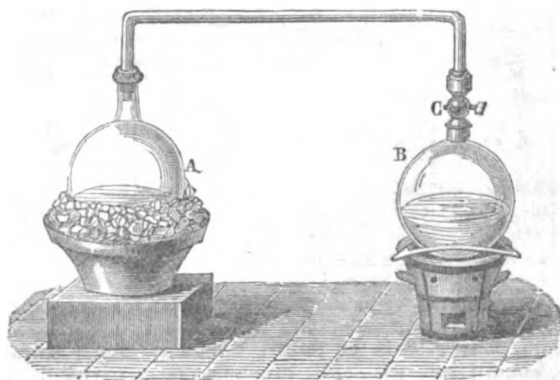



Fig. 229.

a 100 gradi. Finchè questi due palloni non comunicano, la tensione nel primo è in millimetri 4, 6, nel secondo 760, secondo le tavole precedenti. Ma appena che si stabilisce la comunicazione, aprendo il robinetto C, il vapore del pallone B, in virtù del suo eccesso di tensione, si precipita nel pallone A; e siccome quest'ultimo è mantenuto a zero, vi si condensa immediatamente, da ciò risulta che il vapore non può acquistare, nel pallone B, una tensione superiore a quella del pallone A; avvi dunque solo distillazione da B verso A senza aumento di tensione.

Si può dunque ammettere questo principio generale che *quando due vasi, contenenti uno stesso liquido in eccesso ed a temperature disuguali, comunicano tra loro, la tensione del vapore è la stessa in ambedue i vasi, ed è uguale alla tensione corrispondente alla più bassa delle due temperature.* Quanto prima vedremo come Watt applicò questo principio al condensatore delle macchine a vapore.

319. **Evaporazione, cause che l'accelerano.** — Si vide già (308) che per *evaporazione* s'intende una lenta produzione di vapore alla superficie di un liquido. Le stoffe bagnate essiccansi all'aria per evaporazione spontanea; per lo stesso motivo un vaso aperto, pieno d'acqua, si vuota completamente alla fine d'un certo tempo. I vapori che si elevano nell'atmosfera, si condensano in nubi e si risolvono in pioggia, hanno origine dall'evaporazione che si produce alla superficie dei mari, dei laghi, dei fiumi e del suolo.

Quattro cause influiscono sulla rapidità dell'evaporazione di un liquido: 1.° la temperatura; 2.° la quantità di vapore dello stesso liquido già sparso nell'atmosfera ambiente; 3.° il rinnovamento di quest'atmosfera; 4.° l'estensione della superficie di evaporazione.

L'incremento di temperatura accelera l'evaporazione per l'eccesso di forza elastica ch'esso determina nei vapori.

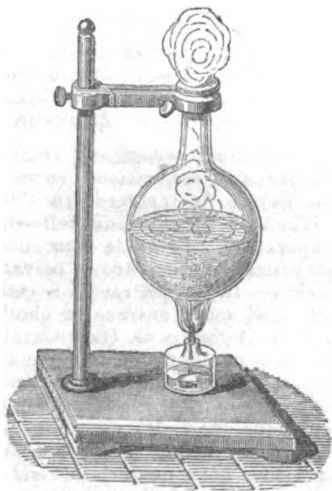
Per comprendere l'influenza della seconda causa, osserviamo che l'evaporazione di un liquido sarebbe nulla in uno spazio saturo del vapore dello stesso liquido, e ch'essa raggiungerebbe il suo massimo in un'aria completamente priva di questo vapore. Ne risulta che fra questi due casi estremi, la rapidità della evaporazione varia, secondochè l'atmosfera ambiente è già più o meno carica degli stessi vapori.

Nel modo medesimo si spiega l'effetto del rinnovamento di atmosfera; perchè se l'aria o il gas che circonda il liquido non si rinnova, tostamente si satura ed ogni evaporazione cessa.

L'influenza della quarta causa è evidente.

320. **Ebollizione, sue leggi.** — Chiamasi *ebollizione* una rapida produzione di vapore, in bolle più o meno grosse, nella massa di un liquido.

Fig. 230.

Quando si scalda un liquido alla sua parte inferiore, per es. dell'acqua, le prime bolle che appaiono non sono che aria in soluzione nell'acqua, che si svolge. Poi delle piccole bolle di vapore s'innalzano tosto da tutti i punti riscaldati delle pareti; ma, attraversando gli strati superiori, la cui temperatura è più bassa, vi si condensano prima di arrivare alla superficie. La formazione e la condensazione successiva di queste prime bolle di vapore cagionano il fremito, che ordinariamente precede l'ebollizione. Finalmente grosse bolle si innalzano e scoppiano alla superficie, il che costituisce il fenomeno dell'ebollizione (fig. 230).

Tutti i liquidi, che ponno entrare in ebollizione, presentano le tre leggi seguenti che si constatano mediante l'esperienza:

1.ª *La temperatura di ebollizione cresce colla pressione;*

2.ª *Per una data pressione, l'ebollizione non comincia che ad una determinata temperatura, che varia da un liquido all'altro, ma che a parità di pressione è sempre la stessa per un medesimo liquido;*

3.ª *Qualunque sia la sorgente di calore, dal momento in cui comincia l'ebollizione, la temperatura rimane stazionaria.*

Temperature di ebollizione alla pressione di 0m,760.

Acido solforoso	— 10°	Acqua distillata	100°
Etere cloridrico	+ 11	Essenza di trementina	156
Acido solforico anidro	25	Fosforo	290
Etere solforico	37	Acido solforico concentrato	325
Solfuro di carbonio	48	Mercurio (col termom. ad aria)	350
Cloroformio	63,5	Solfo	440
Alcool	79	Cadmio (S. Claire Deville e Troost)	860
Benzina	80	Zinco (id.)	1040
Acido azotico monoidrato	86		

Parecchie cause ponno far variare la temperatura d'ebollizione di un liquido, cioè le sostanze in soluzione, la natura dei vasi e la pressione. Noi faremo successivamente conoscere gli effetti di queste differenti cause, particolarmente sull'acqua.

321. **Influenza delle sostanze in soluzione sulla temperatura di ebollizione.** — Una sostanza disciolta in un liquido, quando essa non è volatile, od è meno volatile del liquido, ritarda l'ebollizione tanto più quanto maggiore è la quantità della sostanza in soluzione. L'acqua che bolle a 100 gradi, quand'è pura, bolle solamente alle seguenti temperature, quando è satura di diversi sali:

L'acqua satura di sal marino bolle a . . . . 109 gradi
— — di azotato di potassa 116
— — di carbonato di potassa . . . 135
— — di cloruro di calcio 179

Le soluzioni presentano analoghi risultati; ma le sostanze che sono solamente in sospensione, come le materie terrose, la segatura di legno, non elevano la temperatura d'ebollizione.

L'aria in dissoluzione nell'acqua ha pure moltissima influenza sulla temperatura alla quale essa entra in ebollizione. Infatti, Deluc osservò pel primo, che dell'acqua privata d'aria per mezzo dell'ebollizione e rinchiusa in un matraccio a collo lungo, poteva essere portata fino a 112 gradi senza entrare in ebollizione. Lo stesso fatto venne constatato da Donny e da Galy-Cazalat. Quest'ultimo fisico avendo ricoperta con uno strato d'olio dell'acqua privata d'aria mediante l'ebollizione, la portò sino a 123 gradi senza che incominciasse a bollire; ben presto però avvenne una violenta esplosione di vapore, la quale gettò parte dell'acqua fuori del vaso che la conteneva.

Importa richiamare qui le esperienze di Rudberg, già citate a pag. 201; esperienze nelle quali questo scienziato ha constatato che quando la temperatura di ebollizione dell'acqua è al disopra di 100 gradi, per effetto delle sostanze ch'essa tiene in soluzione, la temperatura del vapore che si svolge è però sempre a 100 gradi, come coll'acqua pura, se la pressione è 0m,760.

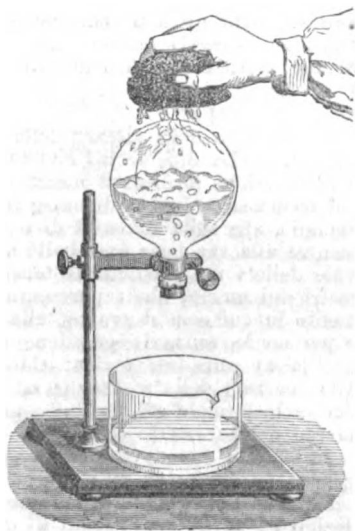
322. Influenza della natura dei vasi sulla temperatura di ebollizione. — Gay-Lussac ha osservato che in un vaso di vetro l'acqua bolle ad una temperatura più elevata che in un vaso di metallo, fenomeno ch'egli attribuì all'affinità del vetro per l'acqua. Prendendo per 100 gradi la temperatura d'ebollizione dell'acqua distillata in un vaso di rame e alla pressione $0^m,760$, ha trovato che a parità di pressione, questo liquido in un pallone di vetro entra in ebollizione soltanto a 101 gradi; e quando il vaso di vetro è ben ripulito con acido solforico concentrato o con potassa, la temperatura dell'acqua può anche innalzarsi a 105 e 106 gradi. Tuttavia un semplice frammento di metallo, collocato a fondo del pallone, è sufficiente per ridurre la temperatura di ebollizione a 100 gradi, e in pari tempo per far iscomparire i sussulti violenti che accompagnano l'ebollizione delle soluzioni saline o degli acidi nei vasi di vetro.

Come per le sostanze in soluzione, la temperatura del vapore non è influenzata da quella che prende l'acqua nei vasi di vetro. Alla pressione $0^m,760$, essa è ancora a 100 gradi, come nei vasi di rame.

323. Influenza della pressione sulla temperatura di ebollizione. — Dalle tavole delle forze elastiche date precedentemente (pag. 249) si riconosce che a 100 gradi, temperatura alla quale l'acqua distillata entra in ebollizione sotto la pressione $0^m,760$, il vapore di questo liquido ha una tensione precisamente uguale a questa pressione. Questo principio è generale e può enunciarsi così: *Ogni liquido entra in ebollizione solamente quando la tensione del suo vapore uguaglia la pressione che sopporta.* Laonde di leggeri si comprende che, aumentando o diminuendo una tal pressione, la tensione del vapore, e per conseguenza la temperatura necessaria all'ebollizione, devono crescere o diminuire.

Fig. 231.

Per dimostrare che la temperatura di ebollizione si abbassa quando la pressione è più debole, si colloca sotto il recipiente della macchina pneumatica una capsula contenente dell'acqua a 30 gradi circa, poi si fa il vuoto. Tostamente si vede il liquido entrare in ebollizione con grande celerità quantunque in un vaso chiuso; e questo avviene perchè il vapore è aspirato dalla macchina di mano in mano che si produce.

Si può fare la stessa esperienza senza ricorrere alla macchina pneumatica. Per ciò si prende un pallone di vetro nel quale si fa bollire dell'acqua per alcuni istanti. Quando si giudica che i vapori svolti da questa abbiano espulsa tutta l'aria che trovavasi nel pallone, lo si chiude ermeticamente e lo si capovolge come mostra la figura 231. Se si raffredda allora la parte superiore con

una spugna imbevuta di acqua fredda, i vapori si condensano, si forma il vuoto, e una viva ebollizione si produce.

Gli è per effetto della diminuzione della pressione atmosferica che, sulle alte montagne, l'acqua bolle al disotto di 100 gradi. Sul monte Bianco, per esempio, questo liquido entra in ebollizione a 84 gradi.

Se, al contrario, la pressione aumenta, l'ebollizione è ritardata. Essa non ha luogo, ad esempio, per l'acqua, che a 120°,6 quando la pressione è di 2 atmosfere.

324. **Bollitore di Franklin.** — Si può dimostrare l'influenza della pressione sulla temperatura di ebollizione anche mediante il *bollitore di Franklin.* È un piccolo apparecchio di vetro che si compone di una bolla *a* e di un tubo *b* riunito a quella con un tubetto capillare (fig. 232). Il tubo *b* essendo affilato alla sua estremità superiore, prima che sia chiuso, vi si introduce dell'acqua; poi, facendo passare il liquido nella bolla *a*, lo si fa bollire scaldando quest' ultima con una lampada ad alcool. Quando si giudica che i vapori dovuti alla ebollizione abbiano trascinata, sviluppandosi, tutta l'aria che era nell'apparecchio, si chiude l'estremità del tubo *b* fondendolo alla lampada. Il vuoto essendo allora fatto nell'apparecchio o almeno quest'ultimo non contenendo più aria, l'acqua non sopporta altra pressione che la tensione del suo vapore, tensione che alla ordinaria temperatura, è debolissima. Risulta da ciò che prendendo la bolla *a* nelle mani, il suolo calore di queste induce nel vapore una tensione che respinge l'acqua nel tubo *b*, e vi determina una forte ebollizione.

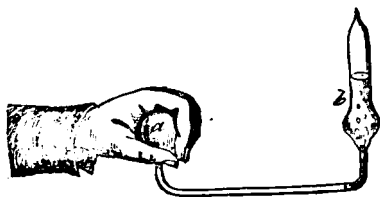



Fig. 232.

325. **Misura della altezza delle montagne colla temperatura di ebollizione.** — La dipendenza che sussiste tra la temperatura di ebollizione e la pressione fornisce il mezzo di misurare l'altezza delle montagne col termometro invece di usare il barometro. Infatti, se si osserva, per esempio, che sulla sommità di una montagna l'acqua bolle a 95 gradi, mentre alla sua base essa bolle a 98 gradi, e che si cerchino nelle tavole delle forze elastiche le tensioni corrispondenti, si trovano in millimetri dei numeri che rappresentano la forza elastica del vapore al momento in cui esso si svolge, alla sommità e al piede della montagna, e per conseguenza la pressione atmosferica sopportata dall'acqua in ebollizione alle due stazioni. Conoscendo così l'altezza del barometro alla sommità della montagna ed alla sua base, si applicano senza difficoltà le formole già date per misurare l'altezza delle montagne col mezzo del barometro (151).

In codesto metodo non si fa uso che di termometri sensibilissimi, graduati soltanto da 80 a 100 gradi circa, in modo che, ciascun grado occupando una grande estensione sulla scala, si possano apprezzare i decimi ed anche i ventesimi di grado. È su questo principio che è costrutto il *termometro ipsometrico* di Regnault, la cui asta è graduata soltanto da 85 a 100 gradi, e ciascun grado è diviso in 10 parti eguali. Per l'uso di questo termometro, Regnault ha costrutte delle tavole che danno la tensione del vapore di acqua per ciascun decimo di grado da 85 a 101.

326. Produzione del vapore in un vaso chiuso. — Fin ora abbiam supposto che i vapori si producessero in uno spazio indefinito, ove potevano liberamente diffondersi. Senza questa condizione l'ebollizione non può aver luogo; in un vaso chiuso, non trovando i vapori che si producono veruna uscita, la loro tensione e la loro densità cresce sempre più colla temperatura, ma lo svolgimento rapido che costituisce l'ebollizione è impossibile. Per conseguenza, mentre in un vaso aperto la temperatura di un liquido non può oltrepassare quella della sua ebollizione, in un vaso chiuso al contrario può innalzarsi molto di più. Lo stato liquido ha nondimeno allora un limite, poichè, dietro le esperienze dovute a Cagniard-Latour, se si introduce dell'acqua, dell'alcool o dell'etere in robusti tubi di vetro, e si chiudono alla lampada dopo d'averne espulsa l'aria mediante l'ebollizione, si osserva che, sottoponendo questi tubi ad una sorgente di calore sufficiente, arriva un momento in cui tutto ad un tratto il liquido scompare, trasformandosi in vapori il cui volume differisce poco da quello del liquido. Cagniard-Latour ha così trovato, che l'etere solforico si riduce totalmente in vapore a 200 gradi, in uno spazio minore del doppio del suo volume allo stato liquido, e che la tensione è allora di 38 atmosfere.

327. Pentola di Papin. — Papin, medico francese, morto nel 1710, sembra essere il primo fisico che abbia studiato gli effetti della produzione del vapore in un vaso chiuso. L'apparecchio che porta il suo nome è un vaso cilindrico di bronzo D (figura 233), munito di un coperchio che può essere saldamente fissato per mezzo di una vite di pressione B, che lo mantiene compresso contro la pentola, malgrado la forza elastica del vapore che tende a sollevarlo. Onde chiudere esattamente l'apparecchio si ha cura, prima di mettere il coperchio, di frapporre delle foglie di piombo tra i suoi orli e quelli della pentola. Alla base di una cavità cilindrica che attraversa il cilindro S e la tubulatura *o*, è praticato nel coperchio un piccolo orifizio, coperto da un disco, sul quale si appoggia un'asta *n*. Quest'asta, la quale attraversa il cilindro e la tubulatura, viene premuta contro il disco otturatore da una leva A, mobile alla sua estremità *a*. Finalmente un peso *p*, che può scorrere lungo la leva A*a*, permette di esercitare sull'asta *n* una pressione tanto maggiore quanto più vicino è questo peso all'estremità A, giusta una nota proprietà della leva (45). In tal modo si può variare la pressione sul disco, e viene regolata in modo, che quando il vapore nell'interno della pentola ha raggiunto una determinata tensione, per es. 6 atmosfere, il disco sia sollevato, e permetta al vapore di uscire. Per tal modo si può evitare la rottura del-

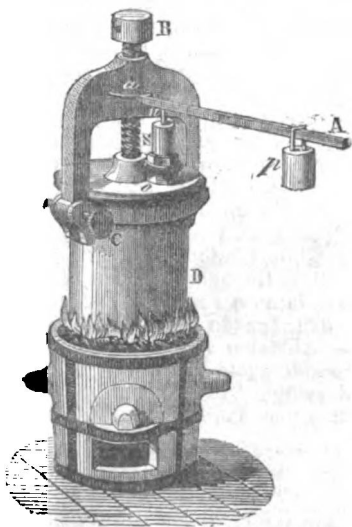



Fig. 233 (a. = 80).

l'apparato; egli è per questo che il meccanismo che abbiamo descritto si chiama *valvola di sicurezza*.

La pentola di Papin, riempita d'acqua circa a due terzi e chiusa, vien riscaldata sovra un fornello. Il liquido può così essere innalzato ad una temperatura molto superiore a 100 gradi, e la tensione del vapore può raggiungere un gran numero di atmosfere a seconda del carico dato alla valvola di sicurezza.

Se allora si apre la valvola, un getto di vapore sfugge fischiando e si eleva ad una grande altezza. L'acqua del vaso, che non aveva per anco bollito, entra attualmente in ebollizione, e la sua temperatura si abbassa sino a 100 gradi.

La pentola di Papin può essere utilizzata per aumentare l'azione solvente dei liquidi, fornendo i mezzi di elevarli ad una temperatura superiore a quella del loro punto di ebollizione; per questo le si diede anche il nome di *digestore*.

328. **Calorico latente dei vapori.** — Giusta la terza legge dell'ebollizione (320), rimanendo stazionaria la temperatura dei liquidi per tutto il tempo del fenomeno, bisogna conchiudere che nella vaporizzazione, come nella fusione, vi è assorbimento d'una considerevole quantità di calorico, l'unico effetto del quale è di far passare i corpi dallo stato liquido allo stato aeriforme; infatti questa quantità di calorico non agisce sul termometro, essendo il vapore che si svolge sempre alla stessa temperatura del liquido, o ad una temperatura poco inferiore. V'è dunque anche qui del *calorico latente*, come nella fusione (300), che vien pur detto *calorico d'elasticità* o *calorico di vaporizzazione*.

Qualunque sia la temperatura alla quale si produca un vapore, v'è sempre assorbimento di calorico latente. Si versi sulla mano un liquido volatile, per esempio dell'etere, si risente un freddo vivissimo che proviene dal calorico di elasticità assorbito dal liquido che si vaporizza [1]. Il calorico latente così assorbito dai vapori può divenire una sorgente di freddo intensissimo, capace di solidificare il mercurio (329) ed anche i gas, come si dimostrerà coll'esperienza, discorrendo dell'apparecchio di Thilorier (334).

Si vedrà quanto prima (364) come si determini la quantità di calorico latente assorbita dai diversi liquidi durante la vaporizzazione.

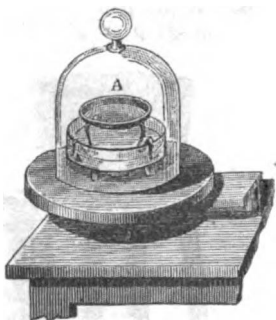
329. **Freddo dovuto alla vaporizzazione, congelazione del mercurio.** — Abbiamo veduto che quando un liquido si vaporizza, una quantità considerevole di calorico è assorbita, allo stato latente, dal vapore che si svolge (328). Ne risulta che se un liquido che si vaporizza non riceve una quantità di calorico equivalente a quella assorbita dal va-

[1] Watt aveva stabilita questa legge, che, *per riscaldare, partendo dallo zero, e vaporizzare un dato peso di acqua, la quantità totale di calorico è sempre la stessa, qualunque sia la temperatura alla quale il vapore si produce, e di conseguenza la tensione massima*; legge che suppone che il calorico latente diminuisca a misura che la vaporizzazione si opera a temperatura più alta. Infatti se si prende per calorico di vaporizzazione dell'acqua il numero 540 (364), l'acqua che si vaporizza a 100 gradi ha assorbito, dallo zero fino al suo mutamento di stato, 100 + 540, o 640 unità di calore. Per conseguenza, se l'acqua che si vaporizza a 150 gradi, per esempio, assorbe ancora, secondo la legge di Watt, una quantità totale di calorico eguale a 640, il suo calorico di vaporizzazione non sarebbe più che 640 — 150, o 490. Southern, al contrario, nel 1803, diede quest'altra legge, che *il calorico latente assorbito al momento della vaporizzazione è costante, qualunque sia la temperatura alla quale il vapore si produce, e per conseguenza la pressione*. Ma secondo i lavori di Regnault, queste due leggi non sono esatte nè l'una, nè l'altra; perocchè la quantità totale di calorico cresce colla temperatura, mentre il calorico latente decresce.

pore, la sua temperatura si abbassa, ed il raffreddamento è tanto più grande quanto più rapida è la vaporizzazione.

Leslie giunse a congelare l'acqua pel solo effetto d'una celere vaporizzazione. Perciò si colloca sotto il recipiente della macchina pneumatica un vaso di terra contenente dell'acido solforico concentrato, sul quale si mette una piccola capsula metallica A (fig. 234), contenente alcuni grammi d'acqua. Facendo il vuoto, l'acqua entra in ebollizione (323), ed essendo i vapori assorbiti dall'acido solforico di mano in mano che si svolgono, si produce una rapida vaporizzazione, che tostamente cagiona il congelamento dell'acqua che è nella capsula.

Fig. 234.

Adoperando altri liquidi più volatili dell'acqua, particolarmente l'acido solforoso, che bolle a — 10 gradi, si produce un freddo intenso in modo da congelare il mercurio. Si fa tale esperienza avviluppando di bambagia una sfera di vetro piena di mercurio; bagnatala quindi d'acido solforoso, la si colloca sotto la campana della macchina pneumatica e si fa il vuoto; il mercurio è tosto solidificato.

Thilorier, dirigendo un getto d'acido carbonico liquido sul serbatoio d'un termometro ad alcool, vide che questo discese sino a 100 gradi sotto zero senza congelarsi; ma si vide (302) che con una mescolanza di protossido d'azoto liquefatto, d'acido carbonico solido e di etere, Despretz giunse a produrre un freddo così intenso da ridurre l'alcool spesso come il siroppo denso.

Il freddo prodotto dall'evaporazione è utilizzato nei paesi caldi per rinfrescar l'acqua mediante gli *alcarazas*. Con tal nome chiamansi alcuni vasi di terra sì porosi da permettere che l'acqua filtri lentamente attraverso le pareti, ed evapori alle superficie, specialmente quando si collocano in una corrente d'aria.

LIQUEFAZIONE DEI VAPORI E DEI GAS

330. **Liquefazione dei vapori.** — La *liquefazione* o *condensazione* dei vapori è il loro passaggio dallo stato aeriforme allo stato liquido. Tre cause ponno effettuare la condensazione: il raffreddamento, la compressione e l'affinità chimica. Le prime due esigono che i vapori sieno allo stato di saturazione (311); ma l'ultima produce la liquefazione dei vapori anche i più rarefatti. Così molti sali assorbono, condensandolo, il vapore acqueo dell'atmosfera comunque piccola sia la quantità che questa ne contiene.

All'istante della condensazione dei vapori, il loro calorico latente ritorna libero, cioè sensibile al termometro. Questo si può constatare facendo passare una corrente di vapore a 100 gradi in un vaso d'acqua alla temperatura ordinaria. Il liquido si riscalda tostamente e giunge a 100 gradi. Si ammette che la quantità di calore così restituita dai vapori che si condensano, è precisamente uguale a quella che essi hanno assorbita formandosi; ciò che sembra evidente.

331. Distillazione e lambicchi. — La *distillazione* è un'operazione che ha per oggetto di separare un liquido volatile dalle sostanze fisse che tiene in soluzione, oppure due liquidi disugualmente volatili. Quest'operazione è basata sulla trasformazione dei liquidi in vapore per l'azione del calorico, e sulla condensazione dei vapori pel raffreddamento.

Gli apparecchi adoperati per la distillazione si chiamano *lambicchi*. La loro forma può variare in parecchi modi, ma essi si compongono sempre di tre pezzi principali : 1.° la *cucurbita* A (fig. 235), vaso di rame

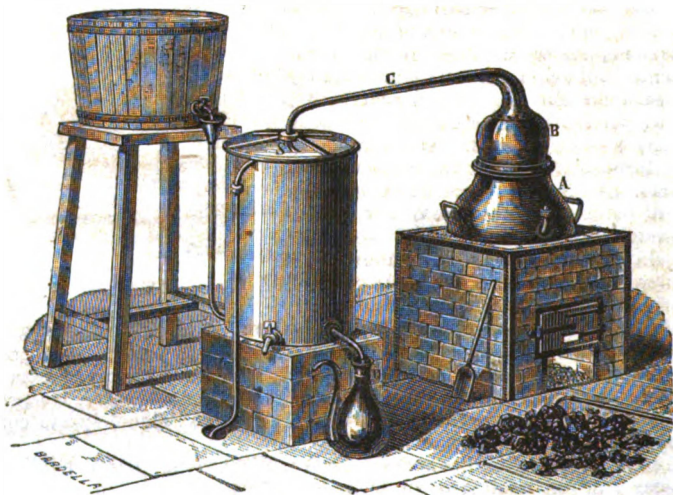



Fig. 235 (a. = 1m,45).

stagnato, che contiene il liquido che si vuol distillare, e la cui parte inferiore è murata in un fornello; 2.° il *capitello* B che poggia sulla cucurbita, e permette il passaggio al vapore attraverso un collo laterale C; 3.° il *serpentino* S, che consiste in un lungo tubo di stagno o di rame, avvolto ad elice e collocato in una vasca piena d'acqua fredda: l'oggetto del serpentino è di condensare il vapore raffreddandolo.

Posto ciò, trattisi, per es. di distillare dell'acqua di pozzo o di fiume per liberarla dai sali che tiene in soluzione e che sono specialmente il solfato di calce, il carbonato di calce e dei cloruri; se ne riempie la cucurbita a due terzi circa, e si riscalda; l'acqua entra in ebollizione ed i vapori che si svolgono, si condensano nel serpentino, e l'acqua proveniente dalla condensazione si porta in seguito nel recipiente D.

I vapori che si condensano riscaldano rapidamente l'acqua della vasca (330), per cui bisogna rinnovarla costantemente, altrimenti la condensazione non avrebbe più luogo. A quest'uopo, un tubo alimentato continuamente da una corrente d'acqua fredda, conduce quest'ultima alla parte inferiore della vasca, mentre l'acqua calda che è meno densa, si porta alla parte superiore ed effluisce da un tubo posto all'alto della vasca.

La distillazione non deve essere protratta troppo a lungo, altrimenti le materie organiche che si potrebbero trovare nell'acqua sarebbero decomposte sulle pareti calde della cucurbita e darebbero origine a dei prodotti volatili.

L'acqua distillata è perfettamente limpida, e non lascia alcun residuo dopo la sua evaporazione; ma essa contiene sempre un po' d'acido carbonico, perchè questo gas, esistendo in tutte le acque naturali, non se ne separa che incompletamente mediante la distillazione. Si può evitare la presenza di questo gas, mettendo nella cucurbita una certa quantità di calce che si combina con lui e lo trattiene.

È appunto colla distillazione, e mediante lambicchi analoghi a quello or ora descritto, che si estrae dal vino l'alcool in esso contenuto.

332. **Assorbimento, tubi di sicurezza.** — Chiamasi *assorbimento*, in chimica, un accidente che si produce negli apparati che servono alla preparazione dei gas. Esso consiste in ciò che, quando si raccolgono i gas sull'acqua o sul mercurio, questi liquidi penetrano negli apparecchi e mandano a vuoto l'operazione.

Quest'accidente è sempre causato dall'eccesso della pressione atmosferica sulla tensione del gas contenuto nell'apparato. Abbiasi infatti un gas, dell'acido solforoso per es., che si sviluppa da un matraccio *m* (fig. 236) e si porta in una provetta A riempita d'acqua. Finchè il gas si sviluppa abbondantemente, la sua tensione la vince sulla pressione atmosferica e sul peso della colonna d'acqua *on*; l'acqua della provetta non può adunque innalzarsi nel tubo, e l'assorbimento è impossibile. Ma se la tensione del gas diminuisce, sia perchè si sviluppi più lentamente, sia perchè si raffreddi il matraccio, la pressione esterna la vince, e quando l'eccesso di questa pressione sulla pressione interna sorpassa il peso della colonna d'acqua *co*, l'acqua entra nel matraccio, e l'operazione va a male. Si previene questo accidente mediante i *tubi di sicurezza.*

Fig. 236.

Vengono così chiamati quei tubi che sono destinati a prevenire l'assorbimento, lasciando entrare l'aria negli apparati a misura che la tensione interna diminuisce. Il tubo di sicurezza il più semplice consiste in un tubo diritto C*o* (fig. 237) che attraversa il turacciolo che chiude il matraccio M nel quale si sviluppa il gas, e che si immerge per qualche centimetro nel liquido contenuto in questo matraccio. Quando la tensione del gas diminuisce nel vaso M, la pressione atmosferica che si esercita sull'acqua della vasca E, lo fa ascendere ad una certa altezza nel tubo DA; ma questa pressione, esercitandosi anche nel tubo C*o*, tende a deprimere di altrettanto il liquido che in esso si trova, ammettendo che questo liquido abbia sensibilmente la stessa densità dell'acqua della vasca E. Ora, siccome la distanza *or* è minore dell'altezza DH, l'aria penetra per l'orifizio *o*, prima che l'acqua della vasca si innalzi fino in A, e per tal modo non ha più luogo l'assorbimento.

Il tubo C*o* serve anche a prevenire le esplosioni. Allorchè la produzione del gas è troppo rapida, e che il tubo AD non può bastare al suo sviluppo, il liquido contenuto nel matraccio M viene spinto allo esterno e sfugge dal tubo C, che diviene ei pure una uscita pel gas appena che il livello si è abbassato al disotto dell'orifizio *o*.

La figura 238 rappresenta un'altra specie di tubo di sicurezza conosciuto sotto il nome di *tubo ad* S. Questo tubo è fornito di una bolla *a*,

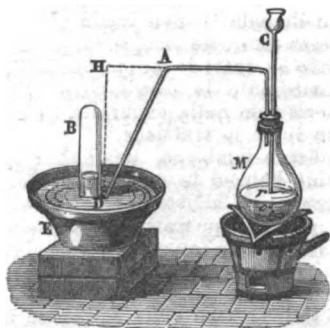
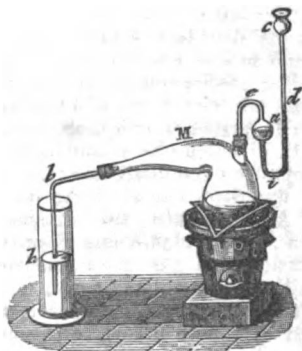



Fig. 237. Fig. 238.

e tanto questa che il braccio *id* contengono una certa quantità di liquido. Allorchè la tensione del gas, nella storta M, supera la pressione atmosferica, il livello nel braccio *id* si eleva più che nella bolla *a*; se il gas ha una tensione di un'atmosfera, il livello nel tubo e nella bolla è uguale; in fine, se la tensione del gas è minore della pressione atmosferica, il livello si abbassa nel braccio *di*, e siccome si ha cura che l'altezza *ia* sia minore di *bh*, appena che l'aria entrata dalla bolla *c* è arrivata nella parte curva *i*, solleva la colonna *ia* e penetra nella storta prima che l'acqua della provetta si sia innalzata sino in *b*; per tal modo, la pressione interna uguaglia la pressione esterna, e l'assorbimento non può aver luogo.

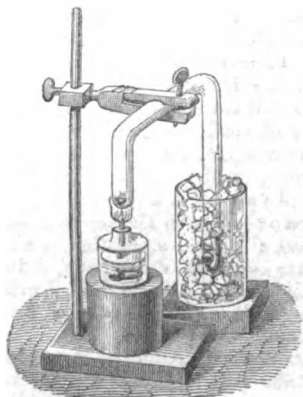



Fig. 239.

333. Liquefazione dei gas. — I gas, altro non essendo che vapori assai dilatati, sono, al paro di quelli, suscettibili d'essere liquefatti. Ma essendo assai lontani dal loro punto di liquefazione, non vi si ponno ridurre che mediante una pressione od un raffreddamento più o meno considerevoli. Per alcuni basta la sola pressione od il solo raffreddamento; però, per la maggior parte bisogna impiegare questi due processi di liquefazione simultaneamente. Pochi gas hanno resistito a queste due azioni combinate, e bisogna ammettere che quelli i quali, come l'ossigeno, l'idrogeno, l'azoto, il biossido d'azoto e l'ossido di carbonio, non han potuto essere liquefatti, lo sarebbero se si potessero sottoporre ad un raffreddamento e ad una pressione sufficienti.

Abbiamo già detto (126) che Faraday ha liquefatto un gran numero di gas, ritenuti fino allora come permanenti. Il suo processo consiste nel rinchiuder in un tubo di vetro ricurvo a sifone delle sostanze, che per la loro reazione chimica danno origine al gas che si tratta di comprimere; dimodochè, essendo queste sostanze contenute in uno dei rami del sifone, il gas, di mano in mano che si sviluppa, viene da sè a comprimersi ed a liquefarsi nell'altro ramo, il quale è immerso in una mescolanza frigorifera (fig. 239). Un piccolo manometro ad aria compressa rinchiuso nel tubo, indica la pressione. Il gas può così venire sottoposto a delle pressioni da 40 a 50 atmosfere.

Mediante questo processo Faraday pel primo ha liquefatto l'acido carbonico a zero e sotto una pressione di 35 atmosfere.

334. Apparecchio per liquefare e solidificare l'acido carbonico. — L'acido carbonico può essere ridotto allo stato liquido soltanto con una pressione considerevole, epperò è necessario effettuare la sua liquefazione in apparecchi speciali, che presentano la massima solidità. Il primo apparecchio di simil genere venne costruito da Thilorier. La figura 240 rappresenta un apparato per liquefare l'acido carbonico, costruito recentemente dai Deleuil; esso è una modificazione di quello di Thilorier, ma una modificazione importante per la solidità.

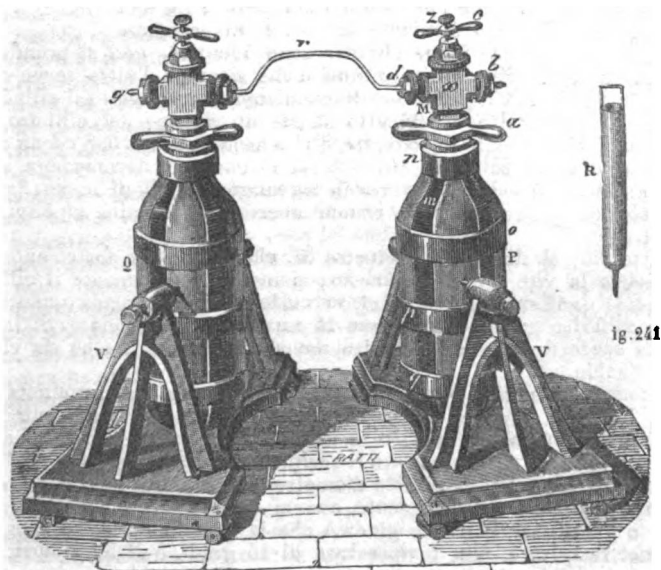



Fig. 240 (a. = 85).

Questo nuovo apparecchio si compone di due cilindri P e Q affatto simili, ambedue mobili, in un piano verticale, intorno a due perni sostenuti da robusti telai di ghisa VV. Questi cilindri, che sono di ghisa

e della capacità di circa sei litri, hanno la grossezza di 3 centimetri; ma nel senso della loro lunghezza, portano quattro nervature aventi un centimetro di sporgenza dal resto della parete ed una larghezza di 8 centimetri. Per dare all'apparato tutta la resistenza necessaria delle fasce di ferro dolce *m*, che si dipartono dalla sommità del cilindro, si adattano nella cavità formata da due nervature consecutive, si avvolgono alla parete inferiore dei cilindri, il fondo dei quali è emisferico, poi ritornano sull'altra faccia dei cilindri e vanno a terminare all'estremità d'onde si dipartirono. Finalmente queste fasce sono saldamente trattenute da quattro cerchi *n*, *o*, *p*, *q*, pure di ferro dolce. Prima di collocare questi cerchi, si fanno arroventare, dimodochè, raffreddandosi, esercitano per la loro contrazione una pressione considerevole sulle fasce longitudinali e sui cilindri.

Sulla testa di ciascun cilindro evvi un robinetto M, formato di parecchi pezzi. Una chiave *a* serve a stringerlo fortemente in una madrevite forata nella massa di ghisa. Nel robinetto evvi un condotto verticale, che si biforca in *x* verso *b* e verso *d*, e mette così l'interno del cilindro in comunicazione con due orifizi praticati in *b* ed in *d*, dei quali si apre soltanto uno alla volta. Una vite *z*, che si serra mediante una chiave *c*, è destinata a chiudere il condotto interno prima della sua biforcazione in *x*. Per ciò essa comprime una palla di piombo, che chiude esattamente l'orifizio del condotto. Allo stesso modo si chiudono gli orifizi *d* e *b* mediante madreviti di pressione.

Posto ciò, siccome i due cilindri sono identici, così si prende, per generatore dell'acido carbonico, quello che si vuole, l'altro serve di recipiente per la sua liquefazione. Supponiamo di aver scelto il cilindro P per generatore; tolto il robinetto M, si introducono nel cilindro 1800 grammi di bicarbonato di soda, tre litri d'acqua calda a 39° ed un chilogrammo d'acido solforico. Onde quest'ultimo non decomponga subito il bicarbonato di soda, lo si versa in un lungo tubo R di rame (fig. 241) e si colloca questo tubo, che rimane aperto all'estremità superiore, nel cilindro P.

Fatto ciò, si rimette il robinetto M, che si stringe fortemente; poi chiudendo la vite *s* ed il robinetto, si inclina leggermente il cilindro, facendolo oscillare sui due perni, in modo che una piccola quantità di acido solforico trabocchi dal vaso R e cada sul bicarbonato. Si inclina quindi successivamente il cilindro, ma a più riprese, finchè sia effluito tutto l'acido.

Il tempo necessario perchè la reazione chimica sia terminata è di circa 7 minuti. L'acido carbonico che si è prodotto nel generatore allora trovasi in parte liquefatto e mescolato all'acqua che servì a prepararlo. Ma se si fa comunicare il recipiente Q col generatore mediante un tubo di ottone *r*, di piccolo diametro, e si schiude la vite *s*, l'acido carbonico distilla nel recipiente, ove si liquefa di nuovo per la sua propria pressione. Thilorier giudicò che la pressione che ha luogo allora nel recipiente, alla temperatura di 15 gradi, è di 50 atmosfere.

Ricominciando cinque o sei volte la stessa operazione si condensano nel recipiente fino a due litri d'acido carbonico liquido.

Per ottenere lo stesso acido allo stato solido, il robinetto del recipiente porta, alla sua parte inferiore, una tubulatura che pesca nell'acido liquido. Per conseguenza, allorchè si apre un orifizio *g* situato sul lato del robinetto, l'acido carbonico liquido, per effetto della pres-

sione che sopporta, zampilla con violenza, passando di nuovo allo stato aeriforme. Ma una parte sola del liquido si gasifica, perchè il calorico latente assorbito durante questo cambiamento di stato è si considerevole (329) che l'altra parte del liquido, cedendo il suo calorico di liquefazione, si solidifica in fiocchi bianchi, cristallizzati sotto forma filamentosa. Si raccolgono questi fiocchi in una scatola sferica di ottone a pareti sottili, della quale ciascun emisfero è munito di una presa tubulare ricoperta da fitto feltro (fig. 242). L'acido carbonico liquido vi

Fig. 242.

giunge per un tubo che penetra all'interno tangenzialmente alla parete. All' uscita di questo tubo il getto viene ad urtare contro una laminetta *a*, che lo divide e accelera la vaporizzazione. La porzione che si gasifica si svolge da piccoli fori *m*, *n* e per le tubulature che servono di presa, mentre quella che si solidifica si agglomera nell'interno della scatola.

L'acido carbonico solidificato vaporizza assai lentamente. Allora, mediante un termometro ad alcool, si può riconoscere che la sua temperatura è di circa — 78 gradi. Nulladimeno, collocato sulla mano, non vi produce una sensazione di freddo tanto viva quanto potrebbesi credere, il che proviene dal non esservi perfetto contatto; ma se lo si mescola con etere, il freddo è così intenso, che un fiocco d'acido carbonico solido posto sulle carni disorganizza i tessuti come lo farebbe una forte scottatura. Tale mescolanza solidifica, in pochi secondi, un peso di mercurio quadruplo del suo.

Immergendovi un tubo pieno d'acido carbonico liquido, Faraday ha potuto solidificare quest'ultimo in una massa compatta che presentava l'aspetto di un pezzo di ghiaccio trasparentissimo.

335. **Apparato per liquefare il protossido di azoto.** — Nell' apparato di Thilorier descritto nel precedente paragrafo, il gas acido carbonico si comprime da sè stesso producendosi in quantità abbastanza abbondante. Ora, non tutti i gas si ottengono in condizioni convenienti per potersi così liquefare per la loro stessa pressione. Allora bisogna ricorrere ad una pressione artificiale come fece Natterer, il quale liquefece parecchi gas comprimendoli in una canna da fucile per mezzo di una tromba premente.

Bianchi, fabbricatore di istrumenti di fisica a Parigi, modificò l'apparato di Natterer e gli diede la forma rappresentata in prospettiva nella fig. 243, ed in sezione, sopra una scala più ampia nella fig. 244. Questo apparato si compone di un serbatoio A di ferro lavorato a martello, della capacità di 7 ad 8 decilitri e resistente a pressioni di oltre 600 atmosfere. Alla parte inferiore di questo serbatoio è unita a vite una piccola tromba premente. L'asta *t* del suo stantuffo riceve il movimento di va e vieni da un'asta E articolata sopra una manovella a gomito, la

quale è mossa da un sistema di due ruote dentate e da una manovella semplice M. Siccome la compressione del gas e lo strofinamento dello

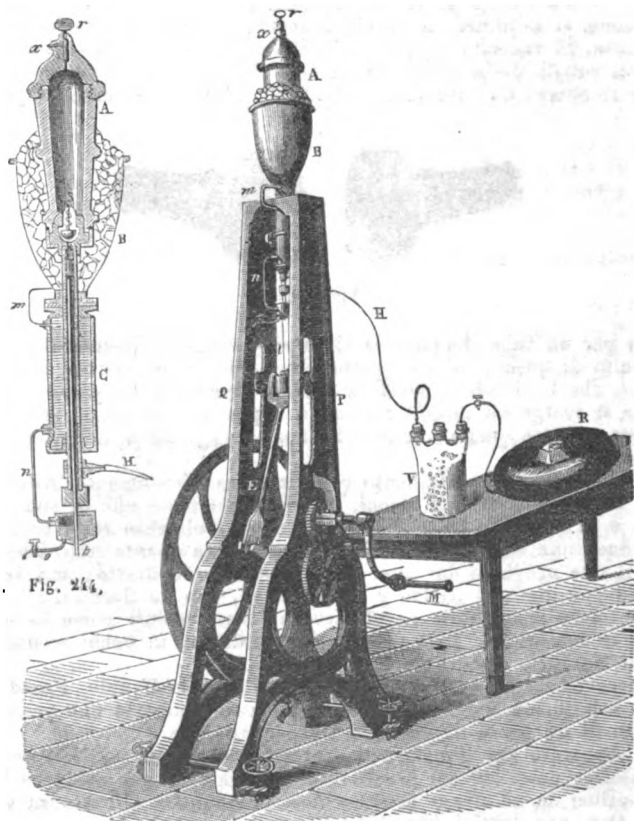



Fig. 213.

stantuffo sviluppano molto calore, si circonda il serbatoio A di una vaschetta B, nella quale si pone del ghiaccio; inoltre, l'acqua proveniente dalla fusione del ghiaccio si porta per una tubulatura *m* in un tubo di rame C, il quale avvolge la tromba premente e di là effluisce per una seconda tubulatura *n* ed un robinetto *o*. Finalmente tutto il sistema è montato su di un telaio di ghisa PQ.

Ciò posto, il gas che si vuol liquefare è raccolto previamente in bisacce impermeabili R, d'onde si porta in un vaso V pieno di cloruro di calcio, o di qualsiasi altra materia disseccante; indi passa nella tromba premente per mezzo di un tubo di caoutchouc H. Dopo aver fatto

agire l'apparato per un certo tempo, si stacca il serbatoio dalla tromba, senza che il gas liquefatto possa sfuggire, giacchè il serbatoio A trovasi ermeticamente chiuso alla sua parte inferiore da una valvola S (fig. 244). Per raccogliere in seguito il liquido contenuto nel serbatoio, lo si capovolge e si apre un bottone a vite *r*, che lascia uscire il liquido per una piccola tubulatura *x*.

La liquefazione più rimarchevole ottenuta con questo apparato è quella del protossido di azoto. Questo gas, una volta liquefatto sebbene in un vaso aperto, non vaporizza che lentamente e si mantiene ad una temperatura fissa di 88 gradi sotto zero: gettandovi del mercurio in piccola quantità si congela tosto. Lo stesso avviene dell'acqua, ma bisogna versarla goccia a goccia, altrimenti il calorico latente di questo liquido essendo molto maggiore di quello del mercurio (363), il calore ceduto dall'acqua, all'istante della sua congelazione, può bastare per far detuonare il protossido d'azoto.

Siccome il protossido d'azoto è facilmente decomposto dal calore, ha, come si sa dalla chimica, la proprietà di favorire la combustione quasi così vivamente che l'ossigeno. Ora, esso conserva questa proprietà anche allo stato liquido, malgrado la sua bassa temperatura. Infatti, se vi si getta un pezzetto di carbone incandescente, questo abbrucia con vivo splendore.

MESCOLANZE DEI GAS E DEI VAPORI

336. **Leggi delle mescolanze dei gas e dei vapori.** — Tutte le mescolanze di un gas e d'un vapore offrono le due leggi seguenti:

1.ª *La tensione e, per conseguenza, la quantità di vapore che satura uno spazio dato, rimangono le stesse, a pari temperatura, sia che questo spazio contenga un gas o che si trovi vuoto.*

2.ª *La forza elastica della mescolanza eguaglia la somma delle forze elastiche del gas e del vapore mescolati, quando si riferisca il gas al suo volume primitivo.*

Queste leggi, chiamate *leggi di Dalton*, dal nome del fisico che pel primo le fece conoscere, si dimostrano mediante un apparato semplicissimo dovuto a Gay-Lussac e rappresentato dalla figura 245. Esso si compone di un tubo di vetro A, alle estremità del quale sono uniti a mastice due robinetti di ferro *b* e *d*. Il robinetto inferiore è munito di una tubulatura che mette in comunicazione il tubo A con un secondo tubo B di un diametro più piccolo. Una scala collocata fra questi due tubi è destinata a misurare l'altezza delle colonne di mercurio contenute in ciascun di essi.

Ciò posto, riempito il tubo A di mercurio, e chiusi i robinetti *b* e *d*, si avvita dapprima sulla chiave *b*, in luogo dell'imbuto C, un pallone di vetro M chiuso esso pure da un robinetto e pieno d'aria secca o di un altro gas qualsiasi. Poi, aprendo i tre robinetti e pieno d'aria secca o di un altro gas qualsiasi. Poi, aprendo i tre robinetti, si lascia effluire dal tubo A una parte di mercurio che viene surrogato dall'aria secca del pallone. Si chiudono allora i robinetti, e siccome l'aria che trovasi nello spazio A si è dilatata uscendo dal pallone e trovasi ad una pressione minore dell'atmosferica, la si riduce a questa pressione versando del mercurio nel tubo B fino a che il livello sia eguale in ambedue i tubi. Finalmente, si toglie il pallone ed il suo robinetto, e

si pone al suo luogo un imbuto C munito esso pure di robinetto *a*, che differisce dai robinetti ordinari. Infatti, esso non è forato da parte a parte, ma porta soltanto una piccola cavità, come si scorge in *n* alla sinistra della figura. Versato nell'imbuto C il liquido che si vuol far vaporizzare, notato il livello *k* del mercurio ed aperto il robinetto *b*, si fa girare il robinetto *a* in modo che la sua cavità si empia di liquido. Poi lo si rivolge affinchè il liquido penetri nello spazio A e vi si vaporizzi. Così si continua a far cadere il liquido goccia a goccia, finchè l'aria che trovasi nel tubo sia satura di vapore; il che si riconosce dal vedere il livello *k* del mercurio cessare d'abbassarsi (311).

Fig. 215 (a. = 1m,18).

Siccome la tensione del vapore che si è formato nello spazio A si è aggiunta a quella dell'aria che già vi si trovava, il volume di gas è aumentato; ma lo si riconduce facilmente al volume primitivo versando di nuovo del mercurio nel tubo B. Quando il mercurio è per tal modo ritornato nel tubo più grosso al livello *k* che aveva dapprima, si osserva nei tubi B ed A una differenza di livello B*o* che rappresenta evidentemente la tensione del vapore che si è prodotto; perchè l'aria avendo ripreso il suo volume primitivo, non ha variato di tensione. Ora, se si fanno passare nel vuoto di un tubo barometrico alcune gocce di quello stesso liquido introdotto nello spazio A, si osserva una depressione precisamente uguale a B*o;* il che appunto dimostra che a pari temperatura, la tensione di un vapore è la stessa tanto nei gas che nel vuoto: dal che si conchiude che *a temperatura uguale, la densità e, per conseguenza, la quantità di vapore a volume eguale, sono pure le stesse.*

La seconda legge poi si trova dimostrata dall'esperienza precedente, poichè, quando il mercurio è ritornato al suo livello *k,* la mescolanza sopporta la pressione atmosferica che si esercita alla sommità del tubo B, più il peso della colonna di mercurio B*o*. Ora, queste due pressioni rappresentano precisamente, l'una la tensione dell'aria secca, e l'altra la tensione del vapore. Del resto la seconda legge può riguardarsi come una conseguenza della prima.

L'apparato da noi or ora descritto non permette d'esperimentare che alla temperatura ordinaria; ma Regnault, mediante un apparecchio che può essere portato a diverse temperature, ha paragonato successivamente, nell'aria e nel vuoto, le tensioni del vapor d'acqua, d'etere, di solfuro di carbonio e di benzina; e costantemente ha osservato che la tensione nell'aria è più debole che nel vuoto. Tuttavia, le differenze

sono così piccole che non infirmano la legge di Dalton e di Gay-Lussac: così Regnault ritenne che si debba continuare ad ammettere questa legge come rigorosa teoricamente, attribuendo le piccole differenze da esso constatate all'affinità igroscopica delle pareti dei tubi.

337. Problemi sulle mescolanze dei gas e dei vapori.

I. — Dato un volume di aria secca V alla pressione H, si domanda quale sarà il suo volume V′ quando sarà satura, restando le stesse la temperatura e la pressione.

Se si rappresenta con F la forza elastica del vapore che satura l'aria, quest'ultima, nella mescolanza, è sottoposta soltanto alla pressione H — F (336, 2°). Ora, giusta la legge di Mariotte, i volumi V e V′ essendo in ragione inversa delle pressioni che sopportano, si ha

$$\frac{V'}{V} = \frac{H}{H-F}, \text{ d'onde } V' = \frac{VH}{H-F}.$$

II. — Dato un volume di aria satura V, alla pressione H ed alla temperatura t, quale sarà il volume V′ di quest'aria ancor satura alla pressione H′ ed alla temperatura t'?

Se si rappresenta con f la tensione massima del vapore a t gradi, e con f' pure la sua tensione massima a t' gradi, l'aria sola, in ciascuna delle mescolanze V e V′, sarà sottoposta rispettivamente alle pressioni H — f ed H′ — f'. Adunque, supponendo dapprima la temperatura costante, si avrà, giusta la legge di Mariotte,

$$\frac{V'}{V} = \frac{H'-f}{H-f'}.$$

Per tener conto del mutamento di temperatura, bisogna osservare che i volumi V′ e V essendo l'uno alla temperatura t', e l'altro alla temperatura t, essi devono essere fra loro nel rapporto di $1 + \alpha t'$ a $1 + \alpha t$, α essendo il coefficente di dilatazione dell'aria; dunque la formola cercata è finalmente

$$\frac{V'}{V} = \frac{H-f}{H'-f'} \cdot \frac{1+\alpha t'}{1+\alpha t}.$$

III. Si cerca il peso P di un volume di aria V, satura di vapore di acqua, alla temperatura t e alla pressione H.

Per risolvere questa quistione, osserviamo che il volume V di aria satura è in realtà un miscuglio di V litri di aria secca a t gradi, alla pressione H meno quella del vapore, e di V litri di vapore saturo a t.

Ora, se si rappresenta con F la tensione del vapore, la pressione dell'aria considerata sarà soltanto H — F, e il problema è così ridotto a cercare: 1.° il peso di V litri d'aria secca a t gradi e alla pressione H — F; 2.° il peso di V litri di vapore saturo a t gradi e alla pressione F.

Per risolvere la prima parte del problema, si sa che un litro di aria secca a zero e sotto la pressione 76 pesa 1gr,293, e che a t gradi e sotto la pressione H — F esso pesa

$\dfrac{1^{gr},293\,(H-F)}{(1+\alpha t)\,76}$ (292, prob. VI); dunque V litri d'aria secca pesano

$$\frac{1^{gr},293\,V\,(H-F)}{(1+\alpha t)\,76}\ [1].$$

Finalmente per ottenere il peso del vapore, bisogna dapprima cercare il peso di uno stesso volume d'aria secca, alla stessa temperatura e alla stessa pressione, poi moltiplicarlo per la densità del vapore (292, prob. VII). Ora, V litri di aria secca, a t gradi e sotto la pressione F, pesando $\dfrac{1^{gr},293\,V.\,F}{(1+\alpha t)\,76}$, V litri di vapore, la cui densità è $\dfrac{5}{8}$, pesano

$$\frac{1^{gr},293\,V.\,F \times 5}{(1+\alpha t)\,76 \times 8}\ [2].$$

Dunque, finalmente, il peso cercato P eguagliando la somma dei pesi [1] e [2], si ha

$$P = \frac{1^{gr},293\,V\,(H-F)}{(1+\alpha t)\,76} + \frac{1^{gr},293\,V \times F \times 5}{(1+\alpha t)\,76 \times 8} = \frac{1^{gr},293\,V}{(1+\alpha t)\,76}\left(H - \frac{3}{8}F\right).$$

STATO SFEROIDALE

338. **Esperienze di Boutigny.** — I liquidi versati sopra superficie metalliche incandescenti presentano fenomeni rimarchevoli, osservati per la prima volta da Leidenfrost, circa un secolo fa e studiati in seguito da alcuni fisici; ma fu specialmente Boutigny che da qualche anno ha fatto conoscere le curiose esperienze, di cui noi esporremo le principali.

Se, mediante una pipetta si versano in una capsula d'argento o di platino a grosse pareti e riscaldata fino al color rosso, alcuni grammi di acqua, si osserva che il liquido non si estende nella capsula e non la bagna, come farebbe alla temperatura ordinaria, ma prende la forma di un globo appianato, ciò che Boutigny esprime dicendo che il liquido passa allo *stato sferoidale*. In questo stato, l'acqua è animata da un moto giratorio rapido sul fondo della capsula, e non solo non entra in ebollizione, ma vaporizza 50 volte più lentamente che se bollisse. Infine, se la capsula si raffredda, giunge un momento in cui non è più calda abbastanza per mantenere l'acqua allo stato sferoidale. Le sue pareti allora sono bagnate dal liquido, ed improvvisamente si manifesta una violenta ebollizione.

Tutti i liquidi ponno assumere lo stato sferoidale, e la temperatura necessaria perchè il fenomeno si produca è di tanto più elevata quanto più elevato è il punto d'ebollizione del liquido. Per l'acqua, la capsula deve essere riscaldata almeno a 200 gradi; per l'alcool, a 134.

Boutigny osservò che la temperatura dei liquidi allo stato sferoidale è costantemente inferiore a quella della loro ebollizione. L'acqua per esempio, resta a 95°,5; l'alcool, a 75°,5; l'etere, a 34 gradi; l'acido solforoso — 10°,5. Ma la temperatura del vapore che si sviluppa è uguale a quella della capsula, d'onde si deve conchiudere che questo vapore non si produce nella massa del liquido.

La proprietà dei liquidi, allo stato sferoidale, di mantenersi ad una temperatura inferiore a quella del loro punto d'ebollizione, condusse Boutigny ad una esperienza rimarchevole, quella cioè della congelazione dell'acqua in una capsula incandescente. Questo fisico scalda al rosso bianco una capsula di platino e vi versa qualche grammo d'acido solforoso anidro. Questo liquido, che bolle a — 10°, si comporta nella capsula come or ora abbiam veduto, vale a dire che la sua temperatura si abbassa al disotto di — 10 gradi. Se allora si aggiunge all'acido solforoso una piccola quantità d'acqua, questa, raffreddata dall'acido, si congela all'istante, e, mentre la capsula è ancor rossa, se ne estrae, non senza sorpresa, un pezzo di ghiaccio.

Allo stato sferoidale, non avvi contatto fra il liquido ed il corpo caldo. Boutigny se ne assicurò facendo arroventare una piastra d'argento collocata in posizione esattamente orizzontale e versandovi sopra un grammo d'acqua colorata in nero. Questo liquido passa allo stato sferoidale; se allora si colloca la fiamma di una candela ad una certa distanza, sul prolungamento della piastra, si distingue chiara e continua questa fiamma tra lo sferoide acqueo e la piastra. Da ciò si conchiude che il liquido si mantiene ad una piccola distanza da quest'ultima, o che fa delle vibrazioni abbastanza rapide perchè l'occhio non le possa distinguere.

Per ispiegare i fenomeni che presentano i liquidi allo stato sferoidale, si ammette che il globetto liquido è sostenuto a distanza dal vaso dalla tensione del vapore che si produce alla sua superficie, di modo che il

liquido non essendo riscaldato per contatto ma solo per irradiamento, non vaporizza che lentamente; soprattutto se osservasi che l'acqua essendo diatermana pei raggi emessi da una sorgente intensa (393), la maggior parte del calorico raggiante la attraversa senza riscaldarla. Boutigny ritiene che la causa che impedisce al liquido di bagnare il metallo è una forza ripulsiva che si produce fra il corpo caldo ed il liquido, ripulsione che sarebbe tanto più intensa quanto più elevata è la temperatura Questa ipotesi si accorda coll'esperienza seguente di Perkins, in Inghilterra. Essendo stato applicato un robinetto ad un generatore di vapore, al disotto del livello dell'acqua, il liquido non effluiva dal robinetto allorchè le pareti del generatore erano portate ad un'altissima temperatura, quantunque la pressione interna fosse considerevole; ma ad una temperatura meno elevata, il liquido zampillava con forza.

DENSITA' DEI VAPORI

339. Metodo di Gay-Lussac. — Chiamasi *densità di un vapore* il rapporto fra il peso di un certo volume di questo vapore e quello d'un ugual volume d'aria, alla stessa temperatura ed alla medesima pressione.

Per determinare la densità dei vapori furono seguiti due metodi: il primo, dovuto a Gay-Lussac, è applicabile ai liquidi che entrano in ebollizione al disotto o poco al disopra dei 100 gradi; il secondo, dovuto a Dumas, permette di operare a temperature che ponno giungere fino a 360 gradi circa.

La figura 246 rappresenta l'apparecchio di Gay-Lussac. Esso si compone di una pentola di ghisa riempita di mercurio, nella quale si immerge un tubo di vetro M pieno d'acqua o d'olio, la di cui temperatura è indicata da un termometro T. Nell'interno del tubo avvi una campana graduata C, che da principio si riempie di mercurio.

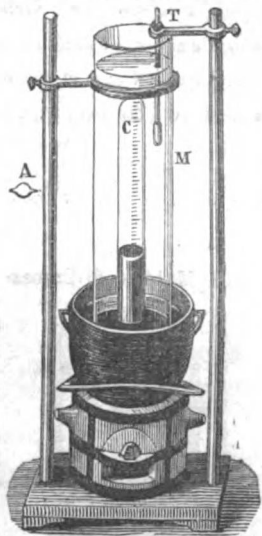



Fig. 246 (a. = 51).

Per esperimentare con questo apparecchio si introduce il liquido da vaporizzare in una piccola ampolla di vetro come quella che è rappresentata in A alla sinistra della figura; chiudendo in seguito questa ampolla alla lampada, la si pesa, e sottraendo dal peso ottenuto, quello dell'ampolla quando era vuota, si ha il peso del liquido introdottovi. Allora si fa passare l'ampolla nella campana C, e si scalda gradatamente finchè l'acqua del tubo giunga ad una temperatura superiore di alcuni gradi a quella alla quale entra in ebollizione il liquido dell'ampolla. Questa allora scoppia per la dilatazione del liquido che contiene, e quest'ultimo, vaporizzandosi, deprime il mercurio contenuto nella campana, come si vede nella figura. Bisogna che l'ampolla sia talmente piccola che tutto il liquido in essa introdotto riducasi in vapore. È ciò che avviene, quando il bagno raggiungendo la temperatura d'ebollizione del liquido dell'ampolla, il livello del mercurio si conserva un po' più elevato all'interno della campana che all'esterno. Ciò indica infatti che

tutto il liquido è vaporizzato, perchè, in caso contrario, il livello interno sarebbe sensibilmente uguale al livello esterno (314). Si ha dunque la certezza che il peso del liquido che trovavasi nell'ampolla rappresenta esattamente il peso del vapore formatosi nella campana C. Il volume poi di questo vapore si conosce mediante la scala graduata che trovasi sulla campana. La sua temperatura è data dal termometro T, e la pressione uguaglia quella del barometro, meno quella del mercurio che rimane nella campana. Rimane solo a calcolare il peso di un volume d'aria uguale a quello del vapore e nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione; poi dividere il peso del vapore per quello dell'aria; il quoziente è la densità o il peso specifico cercato.

Ecco la via da tenersi nel fare questi calcoli. Rappresentiamo con p il peso del vapore in grammi, con v il suo volume in litri, con t la sua temperatura, con H l'altezza del barometro, e con h l'altezza del mercurio nella campana, quindi la pressione del vapore è $H - h$.

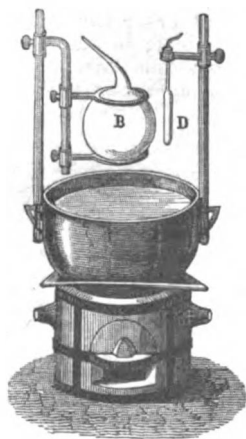
Trattasi di ottenere il peso p' di un volume d'aria v alla temperatura t e sotto la pressione $H - h$. Ora, siccome a zero e sotto la pressione $0^m,76$ un litro d'aria pesa $1^{gr},293$, il peso del volume v, alla stessa pressione ed a zero, sarebbe $1^{gr},293 \times v$. Per calcolare il peso dello stesso volume d'aria a t gradi, sia α il coefficente di dilatazione dell'aria; il volume sarà aumentato da zero a t gradi nel rapporto di 1 a $1 + \alpha t$; al contrario, il peso, a volume uguale, varia nel rapporto inverso di $1 + \alpha t$ a 1. Adunque il peso del volume d'aria v a t gradi ed alla pressione $0^m,76$, è $\dfrac{1^{gr},293 \times v}{1 + \alpha t}$. (292, prob. VI).

Finalmente, il peso di uno stesso volume d'aria essendo proporzionale alla pressione, si passa dalla pressione $0^m,76$ alla pressione $H - h$, moltiplicando la quantità $\dfrac{1^{gr},293 \times v}{1 + \alpha t}$ per $\dfrac{H - h}{0^m,76}$, ciò che dà $\dfrac{1^{gr},293 \times v\,(H - h)}{(1 + \alpha t) \times 0^m,76}$, per il peso p' d'un volume d'aria v, alla pressione $H - h$ ed a t gradi. Per conseguenza la densità cercata è

$$D = \frac{p}{p'} = p\,\frac{(1 + \alpha t)\,0^m,76}{1^{gr},293\,v\,(H - h)}.$$

340. Metodo di Dumas. — Il processo or ora descritto non è applicabile che ai liquidi, il cui punto di ebollizione non oltrepassa i 150 o 160 gradi. Infatti per portare a questa temperatura l'olio di cui in tal caso si empie il tubo, bisogna scaldare il mercurio che trovasi nella pentola ad un grado molto più elevato, per cui si sviluppano dei vapori di mercurio dannosi alla respirazione. Inoltre, la tensione dei vapori di mercurio, nella campana graduata, tende ad unirsi con quella del vapore su cui si esperimenta, il che sarebbe causa d'errore.

Fig. 247.

Il processo seguente, dovuto a Dumas, permette di operare fino alla temperatura alla quale sarebbe deformato il vetro, vale a dire a circa 400 gradi. L'apparato si compone di un pallone di vetro B a collo affilato (fig. 247), e della capacità di circa un mezzo litro. Dopo aver ben essiccato questo pallone all'interno ed all'esterno, lo si pesa pieno d'aria, ciò che dà il peso P del vetro. Vi si introduce in seguito, per la punta affilata, il liquido che si

vuol far vaporizzare, poi si immerge il pallone in un bagno d'acqua satura di sale, od in un bagno d'olio di piedi di bue, o di lega d'Arcet, a seconda della temperatura d' ebollizione del liquido che trovasi nel pallone. Onde mantenere il pallone nel bagno, si fissa, sopra uno dei manici della pentola che lo contiene, un'asta di ferro, lungo la quale può scorrere un sostegno dello stesso metallo. Questo sostegno porta due anelli fra i quali è trattenuto il pallone, come lo mostra la figura. Sull'altro manico, un'asta consimile alla precedente porta un termometro a peso D.

Immerso il pallone ed il termometro nel bagno, lo si riscalda un po' al di là della temperatura d'ebollizione del liquido che trovasi nel pallone. Il vapore, svolgendosi per la punta affilata scaccia l'aria che trovasi nell'apparato. Al momento in cui cessa il getto del vapore, il che avviene quando tutto il liquido è vaporizzato, si chiude alla lampada con un cannello la punta affilata del pallone, avendo cura di notar tosto la temperatura del bagno e l'altezza del barometro. Finalmente, quando il pallone è raffreddato ed asciugato con cura, lo si pesa di nuovo, ed il peso P′ che si ottiene rappresenta il peso del vapore in esso contenuto, più il peso del vetro, meno il peso dell'aria spostata (167). Per avere adunque il peso del vapore, bisogna sottrarre da P′ il peso del vetro, ed aggiungere al residuo il peso dell'aria spostata, il che sarà facile dopo aver determinato il volume del pallone.

Per ciò, si immerge la punta affilata nel mercurio, e se ne rompe l'estremità con una pinzetta. Siccome il vapore si è condensato e nel pallone si è formato il vuoto, il mercurio, per effetto della pressione atmosferica, vi si precipita e, se ne fu espulsa tutta l'aria, lo riempie completamente. Versando in seguito in una campana graduata il mercurio che è penetrato nel pallone, si determina il volume di quest'ultimo alla temperatura ordinaria. Mediante il calcolo poi se ne deduce facilmente il volume del pallone alla temperatura del bagno (278, prob. VI) e, per conseguenza, il volume del vapore alla stessa temperatura. Essendo così arrivati, mediante questo processo, a conoscere il peso di un certo volume di vapore, ad una temperatura e ad una pressione determinata, il resto del calcolo si fa come nel processo di Gay-Lussac. Se rimanesse dell'aria nel pallone, esso non si riempirebbe completamente di mercurio, ma il volume del mercurio introdotto rappresenterebbe ancora il volume del vapore.

Densità di alcuni vapori rapporto all'aria.

Aria	1,0000	Vapore di solfuro di carbonio . .	2,6447
Vapore d'acqua	0,6235	— di essenza di trementina .	5,0130
— d'alcool	1,0138	— di mercurio	6,976.
— d'etere solforico	2,5860	— d'iodio	8,716.

341. Rapporto tra il volume di un liquido e quello del suo vapore. — Conoscendosi la densità di un vapore, se ne deduce facilmente il volume che deve occupare un determinato peso di questo vapore, allo stato di saturazione, ad una temperatura data. Sia proposto, per es., di calcolare il volume di un grammo di vapore d'acqua a 100 gradi ed alla pressione $0^m,76$.

Siccome la densità del vapore d'acqua a 100 gradi è, rispetto a quella dell'aria, 0,6235, si avrà il peso di un litro di vapor d'acqua a 100 gradi ed alla pressione $0^m,76$, cercando il peso di un litro d'aria alla stessa temperatura ed alla stessa pressione e moltiplicando questo peso per $0^m,6235$. Ora abbiamo veduto (292, prob. VI) che rappresentando con P′ il peso di un litro d'aria a t gradi, con P il peso dello stesso volume a zero, e con α il coefficente di dilatazione dell'aria, si ha $P = P'(1 + \alpha t)$; da cui $P' = \frac{P}{1 \times \alpha t}$. Per con-

seguenza, nel caso che noi consideriamo, il peso di un litro d'aria secca, a 100 gradi, è

$$\frac{1^{gr},293}{1 + 0,00367 \times 100} = \frac{1^{gr},293}{1,367} = 0^{gr},946.$$

Per conseguenza, un litro di vapore saturo, a 100 gradi, ed alla pressione $0^m,76$, pesa

$$0^{gr},946 \times 0,6235 = 0^{gr},5898.$$

Per avere, alla stessa temperatura ed alla stessa pressione, il volume V occupato da un grammo di vapore, non avvi che a dividere 1 gr. per $0^{gr},5898$, da cui

$$V = 1^{lit},695 = 1695 \text{ centimetri cubici.}$$

Adunque l'acqua trasformandosi in vapore a 100 gradi ed alla pressione $0^m,76$ assume un volume circa 1700 volte maggiore di quello che aveva allo stato liquido.

CAPITOLO VI.

IGROMETRIA

342. **Oggetto dell'igrometria.** — L'*igrometria* ha per oggetto di determinare la quantità di vapore d'acqua contenuto in un determinato volume d'aria. Questa quantità è assai variabile; ma l'aria non è mai satura di vapore d'acqua, almeno nei nostri climi. Essa non è nemmeno giammai completamente secca; perchè se si espongono all'aria delle sostanze *igrometriche*, cioè che hanno grande affinità per l'acqua, come il cloruro di calcio, l'acido solforico, in ogni tempo esse assorbono del vapore acqueo.

343. **Stato igrometrico.** — Siccome l'aria in generale non è satura, si denomina *stato igrometrico* o *frazione di saturazione* dell'aria il rapporto fra la quantità attuale di vapore acqueo che essa contiene e la quantità che ne conterrebbe se a parità di temperatura fosse satura. Il grado di umidità dell'aria non dipende dalla quantità assoluta di vapore acqueo contenuto nell'atmosfera, ma dalla maggiore o minore distanza dallo stato di saturazione a cui si trova l'aria. Questa, quando fa freddo, può essere umidissima con poco vapore, e molto secca, al contrario, con una maggior quantità, quando fa caldo. Così, per esempio, l'aria, in generale, contiene maggior quantità d'acqua all'estate che non all'inverno, e tuttavia è meno umida, perchè la temperatura essendo più elevata, il vapore è più lontano dal suo punto di saturazione. Così pure quando riscaldasi un appartamento, non si diminuisce punto la quantità di vapore che è nell'aria, ma si diminuisce l'umidità di questa, perchè si allontana il suo punto di saturazione. L'aria può in allora diventare perfino tanto secca da nuocere all'economia animale; perciò egli è bene collocare sulla stufa dei vasi contenenti dell'acqua.

Siccome la legge di Mariotte si applica tanto ai vapori non saturi quanto ai gas (312), ne risulta che a temperatura e volume uguali, il peso del vapore, in uno spazio non saturo, cresce come la pressione e, per conseguenza, come la tensione di questo stesso vapore. Si può adunque sostituire al rapporto delle quantità di vapore quello delle forze elastiche corrispondenti, e dire che lo stato igrometrico dell'aria è *il rapporto fra la forza elastica del vapore d'acqua che essa contiene e la forza elastica del vapore acqueo che conterrebbe alla stessa temperatura se fosse satura.*

Vale a dire che rappresentando con f la tensione del vapore che è nell'aria, con F quella del vapore che è allo stato di saturazione alla stessa temperatura, e con E lo stato igrometrico, si ha $E = \frac{f}{F}$, da cui ricavasi $f = F \times E$.

Importa notare, come conseguenza di questa seconda definizione, che al variare della temperatura l'aria può contenere la stessa quantità di vapore e non essere allo stesso stato igrometrico. Per es., quando la temperatura si eleva, la forza elastica del vapore che l'aria conterrebbe, allo stato di saturazione, cresce più rapidamente che la forza elastica del vapore che si trova attualmente nell'aria, ed allora il rapporto di queste forze, cioè lo stato igrometrico, diventa minore.

Si vedrà quanto prima (351) come dallo stato igrometrico si deduca il peso del vapore contenuto in un dato volume di aria.

344. **Differenti specie di igrometri.** — Chiamansi *igrometri* gli strumenti che servono a determinare lo stato igrometrico dell'aria. Ne furono immaginati moltissimi, che ponno ridursi a quattro specie principali: gli *igrometri chimici*, gli *igrometri ad assorbimento*, gli *igrometri a condensazione* ed i *psicrometri*.

Il metodo dello psicrometro consiste nell'osservare simultaneamente due termometri, il serbatoio di uno dei quali si tiene costantemente bagnato, e l'altro asciutto. Dalla differenza di temperatura che essi indicano, si deduce mediante il calcolo, lo stato igrometrico dell'aria. Noi non descriveremo questo strumento, la formola che il suo inventore, August di Berlino, ha dato per applicarlo, non essendo generale ed esigendo di essere modificata secondo le circostanze nelle quali si trova l'apparecchio.

345. **Igrometro chimico.** — Il processo dell'igrometro chimico consiste a far passare un volume noto di aria su di una sostanza avida di acqua, per esempio, su cloruro di calcio. Avendo pesata la sostanza prima del passaggio dell'aria e pesandola dopo, si trova un eccesso di peso, che è quello del vapore che era contenuto nell'aria. Per far passare a volontà un volume più o meno considerevole, si dispone l'esperienza come mostra la figura 248. Due serbatoi di ottone A e B, identici di costruzione e di capacità, servono successivamente di aspiratori. A questo scopo, essi sono fissati ad uno stesso asse attorno al quale si fanno volgere alternativamente. Di più essi comunicano tra loro con una tubulatura centrale; mentre che per due tubulature praticate nell'asse essi sono sempre in comunicazione, il serbatoio inferiore coll'aria atmosferica, e il superiore, mediante un tubo di gomma elastica, con una serie di tubi M, N, riempito di cloruro di calcio o di pietra pomice imbevuta di acido solforico. Il primo di questi tubi, N, è destinato ad assorbire il vapore di acqua contenuto nell'aria aspirata; il secondo, M, arresta il vapore che tende a passare dal serbatoio nel tubo N.

Ciò posto, il serbatoio inferiore essendo sempre pieno di acqua e l'altro pieno di aria, si capovolge l'apparecchio, girandolo sul suo asse, in modo che il liquido effluisca lentamente da A in B. Il vuoto si produce così in A, l'aria rientra pei tubi N, M, nel primo dei quali tutto il vapore è assorbito. Quando tutta l'acqua è sgorgata in B, si capovolge di nuovo l'apparecchio; lo stesso efflusso ricomincia e lo stesso volume d'aria è aspirato attraverso al tubo N. Di modo che se la capacità di ciascun serbatoio è, per esempio, di 10 litri, e che si capo-

volga cinque volte l'apparecchio, 50 litri d'aria hanno attraversato il tubo N e vi si sono disseccati. Se dunque prima della esperienza, si è pesato il tubo colle materie che sono nel suo interno, e se lo si pesa dopo, l'aumento di peso dà la quantità di vapore di acqua contenuto in 50

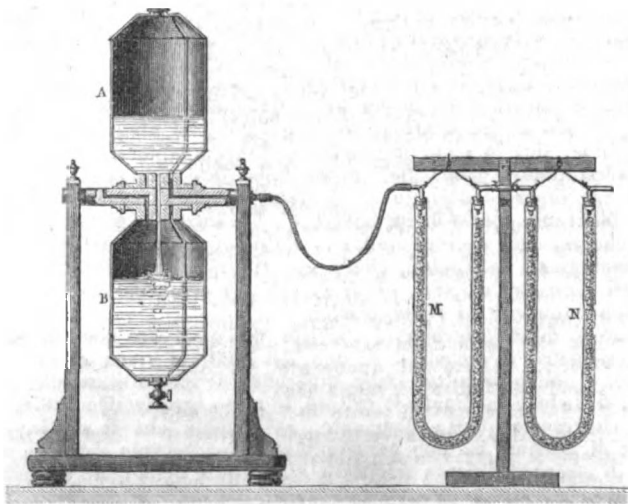



Fig. 248.

litri d'aria al momento della esperienza. Da questo peso si deduce in seguito, col calcolo, lo stato igrometrico dell'aria. Questo processo è il più preciso, ma esso non offre il grado di semplicità necessario nelle osservazioni meteorologiche.

346. Igrometri ad assorbimento. — Gli igrometri ad assorbimento sono fondati sulla proprietà che hanno le sostanze organiche di allungarsi per l'umidità e di accorciarsi per la secchezza. Si immaginarono vari igrometri ad assorbimento. Il più in uso è l'*igrometro a capello* od *igrometro di Saussure*, dal nome del fisico al quale ne è dovuta l'invenzione. Questo strumento si compone di un telaio di ottone (fig. 249) sul quale è teso un capello *o*, previamente liberato dalle sue sostanze grasse mediante l'immersione in acqua contenente un centesimo del suo peso di sottocarbonato di soda. Se il capello contenesse ancora le sostanze grasse, non assorbirebbe che poco vapore ed il suo allungamento sarebbe piccolissimo, mentre che, privo di tali materie, si allunga rapidamente passando dalla secchezza all'umidità.

Il capello *o* è tenuto fermo, alla sua parte superiore da una pinzetta *a* chiusa da una vite di pressione *d*. Questa pinzetta si innalza o si abbassa, per tendere il capello, mediante una vite *b*, la cui madrevite è fissa. Se il capello fosse annodato, ne risulterebbe una torsione che renderebbe irregolare l'allungamento. Alla sua parte inferiore si avvolge sopra una carrucola *o* a due gole, alla quale è fissato. Sulla seconda gola si avvolge, in senso contrario a quello del capello, un filo di seta

che sostiene un piccolo peso p. L'asse della carrucola porta un indice che si muove sopra un quadrante graduato. Quando il capello si accorcia, la trazione che esercita fa innalzare l'indice; quando si allunga, il peso p fa discendere l'indice. Per graduare il quadrante si segna zero al punto in cui, alla temperatura ordinaria, si arresta l'indice nell'aria completamente asciutta, e 100 al punto in cui ei s'arresta nell'aria satura di vapore acqueo; poi si divide l'intervallo fra questi due punti in 100 parti uguali, che sono i gradi dell'igrometro.

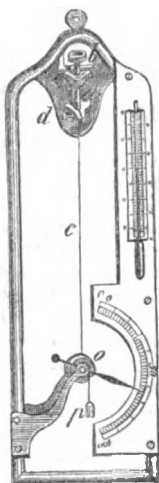
Fig. 249 (a.=27).

Lo zero, o il punto di estrema secchezza, si determina collocando l'igrometro sotto una campana di vetro, di cui si essica l'aria rinchiudendovi delle sostanze assai avide d'acqua, come del cloruro di calcio o del carbonato di potassa calcinato. L'aria della campana perde la sua umidità, e per conseguenza il capello si accorcia e fa girare la carrucola ed il suo indice, ma assai lentamente. Solo dopo quindici o venti giorni, l'indice diviene stazionario, il che indica che l'aria della campana è completamente disseccata. Allora sul quadrante, al punto che corrisponde all'indice, si segna zero.

Si ottiene la posizione del punto di estrema umidità, ritirando dalla campana le materie essiccanti, e bagnandone le pareti con acqua distillata. Questa, vaporizzandosi, satura ben presto l'aria della campana, ed il capello si allunga rapidamente. Allora il piccolo peso il di cui filo si avvolge sulla carrucola in senso contrario al capello, fa girare l'indice allontanandolo dallo zero. In meno di due ore esso ritorna stazionario, ed allora si segna 100 al punto in cui esso si ferma.

Secondo Saussure, un capello lungo circa 20 centimetri, quando il peso che lo tende sia di 3 decigrammi, si allunga da 0 a 100, di $\frac{1}{46}$ della sua lunghezza. I capelli biondi sembrano quelli il cui allungamento è più regolare.

Non si ha riguardo alla dilatazione che subisce il capello per le variazioni di temperatura, perchè si è riconosciuto che per una differenza di 33 gradi nella temperatura dell'aria, l'allungamento del capello fa variare l'ago solo di $\frac{3}{4}$ d'un grado dell'igrometro. Astrazione fatta da questa debole dilatazione, si osserva che, a qualunque temperatura, l'indice dell'igrometro ritorna sempre esattamente allo zero nell'aria perfettamente secca, ed a 100 nell'aria satura. La stabilità di quest'ultimo punto mostra che, nell'aria satura, il capello assorbe sempre la stessa quantità d'acqua, qualunque sia la temperatura e, per conseguenza, la densità del vapore.

Gli igrometri a capello presentano molti inconvenienti. Costrutti con capelli di differenti specie, le loro indicazioni ponno variare di più gradi, sebbene si accordino ai due punti fissi. Inoltre uno stesso igrometro non resta comparabile a sè medesimo, perchè il capello si allunga per la

continua tensione del peso che ei sostiene. Perciò il miglior sistema di graduazione è un quadrante intero, a zero arbitrario, sul quale si determina, di tempo in tempo, la posizione dei punti di estrema secchezza e d'estrema umidità. Soddisfacendo a queste condizioni, l'igrometro a capello presenta ancora l'inconveniente di non dare immediatamente lo stato igrometrico dell'aria. Faremo qui conoscere una tavola costrutta da Gay-Lussac per dedurre lo stato igrometrico dell'aria dalle indicazioni dell'igrometro a capello.

347. **Tavola di correzione di Gay-Lussac.** — L'esperienza dimostra che le indicazioni dell'igrometro a capello non sono proporzionali allo stato igrometrico dell'aria. Per es., quando l'indice segna 50 gradi, numero che corrisponde al mezzo del quadrante, l'aria è lungi dall'essere allo stato medio di saturazione. Fu dunque necessario trovare sperimentalmente lo stato igrometrico corrispondente a ciascun grado dello strumento. Gay-Lussac ha risolto questo problema fondandosi sul principio, che i vapori forniti da una dissoluzione salina od acida hanno una tensione massima tanto più debole, a temperatura uguale, quanto più considerevole è la quantità d'acido o di sale disciolto (316).

Ciò posto, questo scienziato collocava l'igrometro a capello sotto una campana nella quale trovavasi una mescolanza di acqua e di acido solforico, e, quando l'aria della campana era saturata di vapore, notava il grado dell'igrometro. Per ottenere poi la tensione del vapore sotto la campana, faceva passare nel vuoto barometrico alcune gocce della stessa soluzione acida che trovavasi sotto la campana. Allora, la depressione del mercurio nel barometro gli forniva la tensione del vapore sotto la campana, poichè allo stato di saturazione ed a temperatura eguale, la forza elastica di un vapore è la stessa tanto nel vuoto che nell'aria (336, 1.°). Finalmente, cercando nelle tavole delle forze elastiche (pag. 249) la tensione del vapore saturo, alla temperatura dell'aria della campana, egli aveva i due termini del rapporto che rappresenta lo stato igrometrico dell'aria (343) corrispondente al grado segnato dall'igrometro. Egli è ripetendo questa esperienza con dissoluzioni acide più o meno concentrate, ed alla temperatura di 10 gradi, che Gay-Lussac trovò dieci termini della tavola seguente; gli altri termini vennero in seguito determinati da Biot, mediante formole d'interpolazione.

Stati igrometrici corrispondenti ai gradi dell'igrometro a capello, alla temperatura di 10 gradi.

GRADI DELL'IGROMETRO	STATI IGROMETRICI	GRADI DELL'IGROMETRO	STATI IGROMETRICI
0	0.000	55	0,318
5	0.022	60	0,363
10	0,046	65	0 414
15	0,070	70	0,472
20	0,094	72	0,500
25	0,120	75	0,538
30	0.148	80	0,612
35	0,177	85	0,696
40	0,208	90	0.791
45	0,241	95	0,891
50	0,278	100	1,000

Questa tavola fa vedere come soltanto a 72 gradi l'aria è al grado medio di saturazione. Siccome l'indice dell'igrometro, alla superficie del suolo, corrisponde generalmente a questo punto, così si conchiude che l'aria contiene, in media, la metà del vapore acqueo che conterrebbe se fosse satura. Nei nostri climi, l'igrometro non discende giammai fino a 100 gradi, anche in seguito alle piogge le più abbondanti. Durante la massima secchezza ascende di rado oltre i 30 gradi. Elevandosi nell'atmosfera, ascende in generale verso zero.

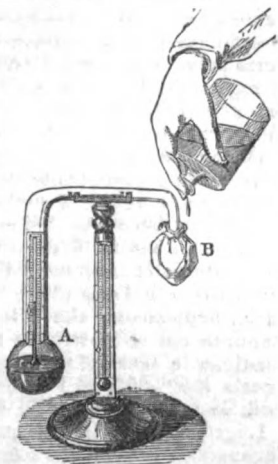
Secondo Gay-Lussac, la sua tavola di graduazione sarebbe applicabile a tutti gli igrometri a capello, ma Regnault ha riconosciuto che le indicazioni di questi strumenti variano a seconda dell'origine de' capelli, il loro colore, la loro finezza, il modo di sgrassamento; di modo che per ottenere indicazioni precise occorre una tavola speciale per ciascun igrometro; il che mostra quanto questi istrumenti siano incompleti, e quanta incertezza e difficoltà s'incontra nel loro uso.

348. **Igrometro a condensazione di Daniell.** — Gli igrometri a condensazione hanno per oggetto di far conoscere, mediante il raffreddamento dell'aria, a quale temperatura il vapore che essa contiene sarebbe sufficiente per saturarla; tali sono gli igrometri di Daniell e di Regnault.

L'*igrometro di Daniell* si compone di due sfere di vetro riunite da un tubo a due ripiegamenti (fig. 250). La sfera A è piena per due terzi di etere, nel quale è immerso un piccolo termometro rinchiuso nel tubo. Le due sfere ed il tubo sono completamente privi d'aria, il che si ottiene facendo bollire l'etere che trovasi nella sfera A, intanto che la sfera B è ancora aperta, e chiudendo quest'ultima alla lampada, allorchè si giudica che i vapori d'etere abbiano espulsa tutta l'aria; di modo che il tubo e la sfera B non contengono che del vapore d'etere.

Fig. 250 (a = 18).

Ciò posto, sulla sfera B avviluppata di mussolina, si versa goccia a goccia dell'etere. Questo liquido, evaporandosi, raffredda la sfera (328), e condensa i vapori che essa contiene. Siccome allora la tensione è diminuita, l'etere della sfera A fornisce tosto nuovi vapori, che vanno parimenti a condensarsi nell'altra sfera, e così di seguito. Ora, a misura che il liquido distilla dalla sfera inferiore alla sfera superiore, l'etere contenuto nella prima si raffredda, e giunge un momento in cui l'aria che trovasi a contatto colla sfera A, e che si raffredda con essa, arriva alla temperatura alla quale il vapor d'acqua che contiene è sufficiente per saturarla. Allora questo vapore si condensa, e si vede depositarsi, sulla sfera A, uno strato di rugiada, che, sotto la forma di un anello, circonda la superficie del liquido, dove, difatti, l'evaporazione produce specialmente il raffreddamento. Il termometro interno indica, in questo istante, la temperatura del *punto di rugiada,* cioè la temperatura di saturazione dell'aria ambiente.

Per ottenere questo punto con maggior approssimazione, si nota la

temperatura al momento in cui il vapore precipitato si dissipa pel riscaldamento, e si prende la media fra questa temperatura e quella della precipitazione. Conviene che durante questa esperienza, l'igrometro sia esposto ad una corrente d'aria, per es. su di una finestra aperta, affinchè l'evaporazione dell'etere sulla mussolina sia più rapida. Finalmente per rendere più visibile il deposito di rugiada, si costruisce ordinariamente la sfera A in vetro nero. La temperatura dell'aria è data da un termometro collocato sul piede stesso dell'apparecchio.

Quando l'igrometro di Daniell ha per tal modo fatta conoscere la temperatura alla quale l'aria sarebbe satura, bisogna dedurne lo stato igrometrico. Per ciò, bisogna notare che, allorchè, in uno spazio libero contenente una mescolanza d'aria e di vapore alla pressione atmosferica, si abbassa la temperatura, la forza elastica del vapore rimane costante fino al punto di saturazione. Infatti, la forza elastica della mescolanza è eguale alla somma delle forze elastiche di ciascun fluido (336, 2.°); ora, intanto che l'aria si raffredda, la sua tensione rimane invariabile, perchè aumenta di tanto per la diminuzione di volume di quanto decresce per l'abbassamento di temperatura. La tensione del vapore deve quindi rimanere invariabile, perchè la forza elastica della mescolanza rimane necessariamente uguale alla pressione dell'atmosfera tanto prima che dopo il raffreddamento. Per conseguenza, *quando l'aria si raffredda, la tensione del vapore, in essa contenuto, rimane costante fino al punto di saturazione e, a questo punto, questa tensione è la stessa che prima del raffreddamento.*

Dietro questo principio, se si cerca, nelle tavole delle forze elastiche, la tensione f corrispondente al punto di rugiada, questa tensione sarà precisamente eguale a quella che possiede il vapore d'acqua che si trova nell'aria al momento dell'esperienza. Se adunque si cerca, nelle stesse tavole, la tensione F del vapore saturo, alla temperatura dell'aria, il quoziente della tensione f diviso per la tensione F rappresenterà lo stato igrometrico dell'aria (343). Per es., essendo 15 gradi la temperatura dell'aria, supponiamo che il termometro della sfera A segni 5 gradi all'istante in cui si mostra la rugiada. Cercando nelle tavole delle forze elastiche le tensioni corrispondenti a 5 gradi ed a 15 gradi, si trova f uguale a 6^{mil},534, ed F uguale a 12^{mil},699; quindi, il rapporto di f ad F, ossia lo stato igrometrico è 0,514.

L'igrometro di Daniell presenta parecchie cause d'errore: 1.° siccome l'evaporazione nella sfera A non raffredda il liquido che alla sua superficie, il termometro che vi si immerge non può indicare con precisione la temperatura del punto di rugiada; 2.° l'osservatore, stando vicino all'apparato, modifica lo stato igrometrico dell'aria ambiente e la sua temperatura.

349. **Igrometro di Regnault.** — Regnault costrusse un igrometro a condensazione, il quale non presenta le cause d'errore di quello di Daniell. Quest'apparecchio si compone di due ditali d'argento, a pareti sottili e levigate, dell'altezza di 45 millimetri e del diametro di 20 (fig. 251). In questi ditali penetrano due tubi di vetro D ed E. Ciascun d'essi contiene un termometro assai sensibile fissato mediante un turacciolo. Il turacciolo del tubo D è attraversato da un tubo A, il quale è aperto alle sue estremità ed arriva fino al fondo del ditale. Finalmente, il tubo D è posto in comunicazione, per mezzo del piede stesso del sostegno, e per un cannello, con un aspiratore G pieno d'acqua. Il tubo E non comu-

nica coll'aspiratore; esso contiene soltanto un termometro destinato a far conoscere la temperatura dell'aria all'istante dell'esperimento.

Ciò posto, si versa dell'etere nel tubo D fino a metà circa, poi si apre il robinetto dell'aspiratore. L'acqua che lo riempie effluisce e l'aria si rarefà nel tubo D. Allora, per effetto della pressione atmosferica,

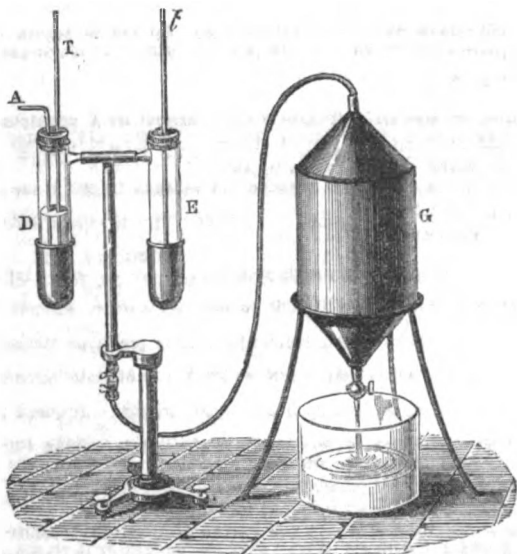



Fig. 251 (a. = 40).

entra dell'aria nel tubo A; ma siccome quest'aria non può penetrare nel tubo D e nell'aspiratore se non passando attraverso all'etere, riduce in vapore una parte di questo liquido, e lo raffredda tanto più sollecitamente, quanto più rapido è l'efflusso. Giunge un istante in cui il raffreddamento determina sul ditale un deposito di rugiada, come nell'igrometro di Daniell; siccome allora il termometro T dà la temperatura corrispondente, si hanno gli elementi necessari per calcolare lo stato igrometrico.

In questo strumento tutta la massa d'etere trovasi alla stessa temperatura, in causa dell'agitazione che le imprime la corrente d'aria; inoltre le osservazioni si fanno in distanza mediante un cannocchiale; in tal modo è allontanata ogni causa d'errore.

350. **Igroscopii.** — Chiamansi *igroscopii* alcuni apparati che indicano bensì se nell'aria siavi più o meno vapore d'acqua, ma non ne fanno conoscere la quantità. Se ne costruiscono di parecchie sorta: i più usitati sono quelli ai quali si dà la forma di piccole figurine, la di cui testa si copre di un cappuccio o se ne scopre, secondo che l'aria è più o meno umida. Questi strumenti sono fondati sulla proprietà che hanno le corde e le minugie attorcigliate di storcersi per l'azione dell'umidità,

e di attorcigliarsi ulteriormente per la secchezza. Le loro indicazioni sono dovute ad un piccolo pezzo di minugia attorcigliata, fissata per uno de' suoi capi, ed attaccata coll'altro al pezzo mobile. Questi igroscopii sono pigri, vale a dire che, siccome si muovono assai lentamente, le loro indicazioni sulle variazioni igrometriche dell'aria sono sempre in ritardo; inoltre sono pochissimo sensibili.

351. **Problemi sull'igrometria** — I. Calcolare il peso del vapore acqueo contenuto in volume d'aria V, alla temperatura t, l'igrometro a capelli segnando m gradi, e la densità del vapore essendo $\frac{5}{8}$.

Colla tavola di Gay-Lussac (347), trovasi lo stato igrometrico E corrispondente ad m gradi dell'igrometro, e nelle tabelle delle forze elastiche (pag. 249) si trova la tensione F del vapore saturo a t gradi; la equazione $f = F \times E$ (343) fa quindi conoscere la forza elastica f del vapore di cui si cerca il peso.

Ciò posto, 1 litro d'aria a 0 ed alla pressione 76, pesando 1^{gr},293, il suo peso a t gradi e alla pressione f è $\frac{1^{gr},293 \times f}{(1+at)\,76}$ (292, prob. VI). Quindi 1 litro di vapore, della densità di $\frac{5}{8}$, pesa, alla stessa temperatura e alla stessa pressione, $\frac{1^{gr},293 \times f \times 5}{(1+at)\,76 \times 8}$. Infine il peso del vapore contenuto in V litri d'aria a t gradi, lo stato igrometrico essendo E, sarà dunque $\frac{1^{gr},293 \times V \times f \times 5}{(1+at)\,76 \times 8}$, valore che è indipendente dalla pressione atmosferica.

II. Calcolare il peso P d'un volume d'aria umida V, il cui stato igrometrico è E, la temperatura t e la pressione H, la densità del vapore essendo $\frac{5}{8}$ di quella dell'aria.

Per risolvere questo problema, devesi osservare che il dato volume d'aria, a norma della seconda legge sulle mescolanze dei gas e dei vapori, non è altro che un miscuglio di V litri d'aria secca a t gradi e alla pressione H meno quella del vapore, e di V litri di vapore a t gradi e alla tensione data dallo stato igrometrico; trattasi dunque di trovare separatamente il peso dell'aria e quello del vapore.

Ora la formola conosciuta $f = F \times E$ (343) serve a calcolare la tensione f del vapore, che è nell'aria, poichè E è dato e F trovasi nelle tabelle delle forze elastiche. Conosciuta la tensione f, se chiamasi f' la tensione dell'aria, si ha $f + f' = H$, d'onde $f' = H - f = H - FE$

La questione riducesi dunque a calcolare il peso di V litri d'aria secca a t gradi e alla pressione H — FE, poi quello di V litri di vapore pure a t gradi, ma alla pressione FE.

Ora, si sa che V litri d'aria secca a t gradi e alla pressione H — FE pesano

$$\frac{1^{gr},293\ V\ (H - FE)}{(1+at)\,76}$$

(292, prob. VI), e si vide nel problema precedente che V litri di vapore, a t gradi e alla pressione FE, pesano

$$\frac{1^{gr},293\ V \times FE \times 5}{(1+at)\,76 \times 8};$$

facendo dunque finalmente la somma dei due pesi ottenuti e riducendo, si ha

$$P = \frac{1^{gr},293\ V \left(H - \frac{3}{8}FE\right)}{(1+at)\,76}\ [A].$$

Se l'aria fosse satura, si avrebbe E = 1, e allora questa formola si cangerebbe in quella di già trovata per le mescolanze dei gas e dei vapori saturi (337, prob. III).

Se V = 1 litro, P rappresenta il peso di un litro d'aria alla temperatura t, sotto la pressione H, e allo stato igrometrico E; vale a dire la quantità a che entra nelle formole date precedentemente per la correzione dei pesi specifici dei solidi e dei liquidi (290).

La formola [A] contenente, oltre il peso P, parecchie quantità variabili V, E, H, t, si può, prendendo successivamente ciascuna di queste quantità per incognita, proporsi al-

trettanti problemi di cui si otterrebbe la soluzione risolvendo l'equazione [A] per rapporto a V, a E, ad H o a t. Ne vedremo un esempio nel problema seguente.

III. Calcolare, a t gradi e alla pressione H, il volume d'un peso d'aria P il cui stato igrometrico è E, la densità del vapore essendo $\frac{5}{8}$, e la sua tensione massima F a t gradi essendo conosciuta col mezzo delle tabelle delle forze elastiche.

Risolvendo per rapporto a V l'equazione [A] del problema precedente, si trova

$$V = \frac{P\,(1 + \alpha t)\,76}{1^{gr},293\left(H - \frac{3}{8}FE\right)}\ [B].$$

Questo problema si può risolvere anche direttamente. Perciò, il peso P essendo un miscuglio d'aria secca a t gradi e alla pressione H — FE, e di vapore a t gradi e alla pressione FE, sieno x il peso dell'aria e y il peso del vapore; secondo l'enunciato, si ha $x + y = P$ [1]. Ma la densità del vapore essendo $\frac{5}{8}$ di quella dell'aria, y deve eguagliare i $\frac{5}{8}$ di x a pressione eguale. Ora, il volume d'aria cercato pesando x alla pressione H — FE, il suo peso alla pressione FE, che è quella del vapore, non è più che

$$\frac{x \times FE}{H - FE};\ \text{dunque, } y = \frac{x \times FE \times \frac{5}{8}}{H - FE}.$$

Trasportando questo valore nell'equazione [1], si ha

$$x + \frac{x \times FE \times \frac{5}{8}}{H - FE} = P,\ \text{d'onde } x = \frac{P\,(H - FE)}{H - \frac{3}{8}FE}.$$

Conosciuto il peso dell'aria, si avrà il suo volume in litri cercando quante volte questo peso contiene quello di un litro d'aria a t gradi ed alla pressione H — FE. Ora, 1 litro d'aria a 0 e alla pressione 76 pesando $1^{gr},293$, il suo peso a t gradi e alla pressione H — FE, è $\frac{1^{gr},293\,(H - FE)}{(1 + \alpha t)\,76}$. Dunque, infine

$$V = \frac{P\,(H - FE)}{H - \frac{3}{8}FE} : \frac{1^{gr},293\,(H - FE)}{(1 + \alpha t)\,76} = \frac{P\,(1 + \alpha t)\,76}{1^{gr},293\left(H - \frac{3}{8}FE\right)},$$

formola che è la stessa della formola [B] ottenuta qui sopra.

CAPITOLO VII.

CALORIMETRIA, TEORIA DINAMICA DEL CALORE

852. **Oggetto della calorimetria, caloria.** — L'oggetto della *calorimetria* è quello di misurare la quantità di calorico che i corpi cedono o assorbono, allorchè la loro temperatura si abbassa o si eleva di un numero di gradi conosciuto, o allorchè cangiano di stato.

Non si può misurare la quantità assoluta di calorico perduta od acquistata da un corpo, ma si può misurarne solo la quantità relativa, vale a dire il rapporto fra la quantità assoluta perduta od acquistata da un corpo e quella che perde o assorbe un altro corpo per produrre lo stesso effetto; perciò si convenne di prendere per *unità di calorico* o *caloria*, la quantità di calorico necessaria per innalzare da zero ad 1 grado la temperatura di un chilogrammo d'acqua.

353. **Calorico specifico.** — Chiamasi *calorico specifico* o *capacità calorifica* di un corpo la quantità di calorico che assorbe, quando la sua temperatura si innalza da zero ad 1 grado, comparativamente a quella che assorbirebbe, nello stesso caso, un egual peso di acqua; il che equivale a prendere per unità il calorico specifico dell'acqua.

Si verifica facilmente che tutti i corpi non hanno lo stesso calorico specifico. Se si mescola, per es., un chilogrammo di mercurio a 100 gradi con un chilogrammo d'acqua a zero, si osserva che la temperatura della mescolanza è di soli 3 gradi circa. Vale a dire che, siccome il mercurio si è raffreddato di 97 gradi, la quantità di calorico da esso perduta non riscalda che di 3 gradi lo stesso peso d'acqua. Adunque l'acqua, a peso eguale, assorbe una quantità di calorico circa 32 volte maggiore di quella che assorbe il mercurio, per uno stesso innalzamento di temperatura.

Per la determinazione dei calorici specifici si adoperano tre metodi: quello della fusione del ghiaccio, quello delle mescolanze e quello del raffreddamento. In quest'ultimo metodo si desume il calorico specifico di un corpo dal tempo che esso impiega a raffreddarsi di un numero di gradi conosciuto. Noi esporremo soltanto i due primi metodi; ma innanzi tutto è necessario far conoscere come si misuri la quantità di calorico assorbita da un corpo, di cui si conoscano la massa ed il calorico specifico, quando la sua temperatura si innalza di un certo numero di gradi.

354. **Misura del calorico sensibile assorbito dai corpi.** — Si rappresenti con m il peso di un corpo in chilogrammi, con c il suo calorico specifico e con t la sua temperatura. Siccome si è presa per unità la quantità di calorico necessaria per elevare da zero ad 1 grado la temperatura di un chilogrammo d'acqua, così abbisogna un numero m di queste unità per elevare da zero ad 1 grado la temperatura di un peso d'acqua di m chilogrammi; e per elevarla da zero a t gradi se ne richiede un numero t volte maggiore, cioè un numero mt. Ora, poichè tale è la quantità di calorico necessaria per portare da zero a t gradi la temperatura di m chilogrammi d'acqua, il cui calorico specifico è 1, è evidente che per un corpo dello stesso peso, il cui calorico specifico sia c, se ne richiede c volte mt ossia mtc. Da ciò si conchiude che allorchè un corpo si riscalda da zero a t gradi, *la quantità di calorico che assorbe può essere rappresentata dal prodotto che si ottiene moltiplicando il suo peso per la sua temperatura e pel suo calorico specifico.* Questo principio è la base delle formole che ci serviranno alla determinazione dei calorici specifici.

Se il corpo si riscalda o si raffredda da t a t' gradi, la quantità di calorico assorbita o ceduta sarà del pari rappresentata dalla formola

$$m\,(t' - t)\,c, \text{ ovvero } m\,(t - t')\,c.$$

Noi raccomandiamo queste formole all'attenzione degli allievi; perchè è con essa che si risolvono tutti i problemi relativi ai calorici specifici.

355. **Metodo delle mescolanze.** — Per calcolare, col metodo delle mescolanze, dovuto a Black, il calorico specifico di un corpo solido, lo si pesa e lo si porta ad una temperatura nota, che si determina mantenendolo un certo tempo in una corrente di vapore a 100 gradi; poi si immerge in una massa di acqua fredda il cui peso e la temperatura sono parimenti note. Dalla quantità di calorico che il corpo cede all'acqua si deduce il suo calorico specifico.

L'apparecchio di cui si fa uso per questa esperienza è un *calorimetro ad acqua*. Esso si compone di un vaso cilindrico di ottone o di argento, a pareti sottili e levigate, sos-

tenuto da fili di seta (fig. 252), onde evitare la perdita del calore per conducibilità. Codesto vaso è riempito di acqua nella quale si immerge un termometro sensibilissimo; un rimestatore di vetro *a* serve ad agitare il liquido mentre si scalda.

Fig. 252.

Ciò posto, rappresentiamo con M il peso del corpo, con T la sua temperatura all'istante in cui lo si immerge nel liquido e con c il suo calorico specifico.

Parimenti, si rappresenti con m il peso dell'acqua fredda e con t la sua temperatura.

Finalmente, si rappresenti con m' il peso del vaso contenente l'acqua, con c' il suo calorico specifico e con t la sua temperatura, la quale è evidentemente quella dell'acqua.

Appena che il corpo caldo è immerso nel liquido, la temperatura di quest'ultimo si eleva, e se si rappresenta con θ la più alta temperatura a cui esso arriva, si vede che il corpo si è raffreddato di un numero di gradi rappresentato da $(T - \theta)$, e che, per conseguenza, ha perduta una quantità di calorico la quale ha per misura $Mc\,(T - \theta)$ (354). L'acqua ed il vaso, invece, si sono riscaldati di un numero di gradi uguale a $(\theta - t)$ ed assorbirono rispettivamente delle quantità di calorico eguali ad $m\,(\theta - t)$ e ad $m'c'\,(\theta - t)$, poichè il calorico specifico dell'acqua è l'unità. Ora, la quantità di calorico ceduta dal corpo caldo è evidentemente uguale alla somma delle quantità di calorico assorbite dall'acqua e dal vaso; si ha adunque l'equazione

$$Mc\,(T - \theta) = m\,(\theta - t) + m'c'\,(\theta - t) \quad [1],$$

dalla quale si deduce facilmente il valore di c, quando il calorico specifico c' del vaso sia noto. Se non lo fosse, si dovrebbe incominciare col determinarlo, immergendo nell'acqua un corpo caldo della stessa sostanza del vaso, ed avente, per conseguenza, lo stesso calorico specifico. L'equazione precedente assume allora la forma

$$Mc'\,(T - \theta) = m\,(\theta - t) + m'c'\,(\theta - t) \quad [2],$$

e risolvendola per rapporto a c', che è attualmente la sola incognita, si trova

$$c' = \frac{m\,(\theta - t)}{M\,(T - \theta) - m'\,(\theta - t)}.$$

Essendo conosciuto il calorico specifico del vaso, per risolvere l'equazione [1] superiormente trovata, si scriva, nel secondo membro $(\theta - t)$ come fattor comune, ed allora si avrà

$$Mc\,(T - \theta) = (m + m'c')\,(\theta - t) \quad [3];$$

dividendo i due membri per $M\,(T - \theta)$, si ha

$$c = \frac{(m + m'c')\,(\theta - t)}{M\,(T - \theta)} \quad [4].$$

Si scrive sovente il valore di c sotto questa forma:

$$c = \frac{(m + \mu)\,(\theta - t)}{M\,(T - \theta)} \quad [5],$$

mettendo $m'c' = \mu$; cioè, esprimendo con μ il peso di acqua che assorbirebbe la stessa quantità di calorico del vaso; il che si esprime dicendo che il vaso è *ridotto* in acqua.

Finalmente, per dare al metodo delle mescolanze tutta la precisione di cui è suscettibile, devesi anche tener conto del calore assorbito dal vetro e dal mercurio del termometro.

Onde tener a calcolo le perdite di calorico dovute all'irradiamento nel processo che abbiam descritto, si fa dapprima un esperimento col corpo stesso di cui si cerca il calorico specifico, al solo intento di conoscere approssimativamente il numero di gradi di cui deve elevarsi la temperatura dell'acqua e del vaso. Se, per es., questo numero è di 10 gradi, si raffredda l'acqua ed il vaso di un numero corrispondente alla metà, ossia di 5 gradi, al disotto della temperatura dell'aria ambiente; poi si procede all'esperimento definitivo. Se la temperatura dell'acqua si eleva sensibilmente di 10 gradi, ne risulta che il vaso, la cui temperatura era dapprima di 5 gradi al disotto di quella dell'ambiente, alla fine dell'esperimento, è di 5 gradi al disopra. Adunque la perdita ed il guadagno di calorico che provengono dall'irradiazione durante l'esperimento, si compensano.

356. Apparato di Regnault pel metodo delle mescolanze. — La figura 233 rappresenta l'apparecchio adottato da Regnault per la ricerca dei calorici specifici col metodo delle mescolanze.

Il pezzo principale di questo apparecchio è una stufa AA, rappresentata in sezione nella figura 234. Essa è divisa in tre scompartimenti cilindrici: nello scompartimento centrale è sospeso per mezzo di fili di seta un piccolo canestro *c* di fili di ottone; in questo canestro vien collocata in pezzetti la sostanza sulla quale si vuol esperimentare. Un termometro T, fisso al centro di questi frammenti, ne indica la temperatura. Nel secondo scompartimento *pp* circola una corrente di vapore, che giunge, per mezzo di un tubo *e*, da un generatore B, e si porta in seguito, per mezzo di un tubo *a*, in un

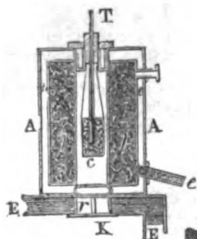
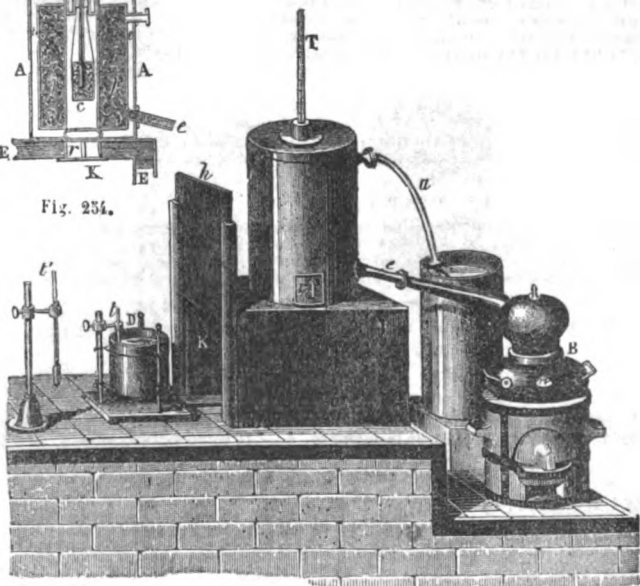



Fig. 233.

serpentino, ove il vapore si condensa. Il terzo scompartimento *ee* è pieno d'aria destinata ad opporsi alla dispersione del calorico. Al di sotto della stufa avvi una camera K circondata da una doppia parete EE, formante un serbatoio che si mantiene pieno d'acqua fredda onde impedire la trasmissione del calorico proveniente dalla stufa e dal generatore. Finalmente, lo scompartimento centrale della stufa è chiuso da un registro *r* che si apre ad arbitrio, e che permette allora di far passare il canestro *c* dalla stufa nella camera K.

Ciò posto, a sinistra della stufa, si vede un piccolo vaso di ottone D, a pareti sottilissime, il quale è sospeso, per mezzo di fili di seta, ad un piccolo carro che può scorrere in una scanalatura e giungere nella camera K. Il vaso D, che è destinato a servire di calorimetro, è pieno d'acqua, ed in quest'acqua è immerso un termometro *t* che ne dà la temperatura. Finalmente un termometro *t'*, collocato vicino all'apparato, dà la temperatura dell'aria ambiente.

Così disposto l'apparato, quando il termometro T indica che la sostanza collocata nel canestro *c* ha presa una temperatura stazionaria, il che avviene dopo due ore e mezzo a tre ore, si solleva il diaframma *h* e si fa avanzare il vaso D fin sotto allo scomparti-

mento centrale della stufa. Aprendo allora il registro r, si lascia cadere rapidamente nell'acqua del vaso D il canestro e le materie in esso contenute, tranne il termometro T, il quale resta fisso al turacciolo che lo sostiene. Ritirando tosto il carro ed il vaso D, si agita l'acqua di quest'ultimo finchè il termometro t diventa stazionario. La temperatura che allora esso indica è quella rappresentata da θ nella formola del paragrafo precedente. Conosciuta questa temperatura, il resto del calcolo si fa come si disse più sopra. Però si tien conto del calorico ceduto al calorimetro dal canestro di ottone; Regnault tenne conto anche di quello assorbito dal mezzo ambiente.

357. **Metodo della fusione del ghiaccio.** — Il metodo che noi descriveremo è fondato sul calorico latente assorbito dal ghiaccio che si fonde: quantità di calorico la quale, come vedremo ben presto (363), è di 79 unità per ogni chilogrammo di ghiaccio. L'apparato usato in questo metodo è dovuto a Lavoisier ed a Laplace, e si designa col nome di *calorimetro di ghiaccio*. La figura 255 ne rappresenta l'esterno, e la figura 256 ne mostra una sezione. Quest'apparato è formato di tre vasi concentrici di latta. In quello che trovasi al centro si colloca il corpo M, di cui si cerca il calorico specifico; gli altri due scompartimenti sono pieni di ghiaccio frantumato. Il ghiaccio dello scompartimento A è destinato ad essere fuso dal corpo caldo, e quello dello scompartimento B serve solo a trattenere il calorico irradiato dall'ambiente sull'apparecchio. Due robinetti D e E servono all'efflusso dell'acqua proveniente dalla fusione del ghiaccio.

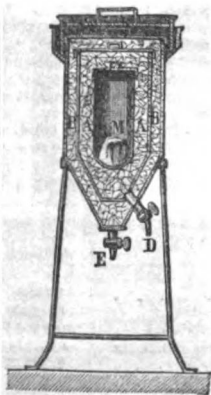



Fig. 255 (a. = 89). Fig. 256.

Per trovare il calorico specifico di un corpo solido mediante questo calorimetro, si determina dapprima il peso m di questo corpo in chilogrammi, poi lo si porta ad una temperatura conosciuta t, tenendolo per qualche tempo in un bagno caldo d'acqua o d'olio, ovvero in una corrente di vapore; in seguito lo si colloca rapidamente nel vaso centrale, si rimettono tosto i coperchi e vi si sovrappone del ghiaccio, come lo mostra la figura. Allora si raccoglie l'acqua che effluisce dalla chiavetta D, e, quando l'efflusso cessa, se ne determina il peso P in chilogrammi, peso che evidentemente rappresenta quello del ghiaccio fuso. Ora, siccome un chilogrammo di ghiaccio assorbe, fondendosi, 79 unità di calorico, P chilogrammi assorbirono P volte 79 unità. D'altra parte, questa quantità di calorico è necessariamente uguale a quella ceduta dal corpo M durante il suo raffreddamento da t gradi a zero, cioè ad mtc (354); perchè si ammette come evidente che un corpo raffreddandosi da t gradi a zero, cede precisamente la quantità di calorico che avrebbe assorbito per riscaldarsi da zero a t gradi. Si ha quindi l'eguaglianza

$$mtc = 79\ \mathrm{P}; \text{ d'onde } c = \frac{79\ \mathrm{P}}{mt}.$$

Il metodo del calorimetro di ghiaccio presenta molte cause di errori. La principale è che una parte dell'acqua proveniente dalla fusione rimane aderente al ghiaccio che non è stato fuso, per cui il peso P non può essere valutato esattamente. Inoltre, l'aria esterna

che penetra nel calorimetro a traverso le chiavette aumenta la quantità di ghiaccio fuso. Si evitano in parte questi inconvenienti sostituendo, come ha fatto Black, al calorimetro il *pozzo di ghiaccio*. Si dà questo nome ad un foro che praticasi, mediante un ferro caldo, in un pezzo di ghiaccio compatto, e nel quale si colloca il corpo di cui si cerca il calorico specifico, dopo d'averlo riscaldato sino ad una temperatura conosciuta (figura 257). Avendo previamente resi regolari i lembi del foro con un ferro caldo, vi si sovrappone un pezzo di ghiaccio in modo che lo chiuda esattamente. Quando si giudica che il corpo sia raffreddato fino a zero, lo si ritira unitamente all'acqua di fusione, e, determinato il peso di quest'ultima, altro non resta che sostituirlo nella formola precedente.

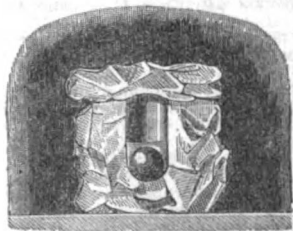



Fig. 257.

338. **Calorico specifico dei liquidi.** — Il calorico specifico dei liquidi può essere determinato tanto col metodo del raffreddamento come con quello delle mescolanze, o con quello del calorimetro di Lavoisier e Laplace. Solo in quest'ultimo metodo devono essere rinchiusi in un piccolo vaso di latta od in tubi di vetro che si collocano nello scompartimento M (fig. 256).

Paragonando fra loro i numeri della tavola qui unita, si vede che l'acqua e l'olio essenziale di trementina hanno un calorico specifico assai maggiore di quello delle altre sostanze e principalmente dei metalli. Questa proprietà è generale pei liquidi. Appunto pel suo grande calorico specifico l'acqua impiega molto tempo a riscaldarsi ed a raffreddarsi, ed allora assorbe o cede maggior quantità di calorico che un altro corpo di massa e di temperatura eguali. Questa doppia proprietà è utilizzata nella tempra dell'acciaio e nel riscaldamento per circolazione d'acqua calda di cui parleremo più tardi (424).

339. **Calorici specifici medii dei solidi e dei liquidi fra 0 e 100 gradi.** — Regnault ha calcolato col metodo delle mescolanze e con quello del raffreddamento, il calorico specifico di un gran numero di corpi. Noi riportiamo qui i numeri che egli ha ottenuti col primo di questi metodi, pei corpi che più di frequente si adoperano nelle arti:

SOSTANZE	CALORICI specifici	SOSTANZE	CALORICI specifici
Acqua	1,0080	Cobalto	0,10696
Essenza di trementina . .	0,42590	Zinco	0,09555
Nero animale calcinato . .	0,26085	Rame	0,09515
Carbone di legno calcinato	0,24111	Ottone	0,09391
Solfo	0,20259	Argento	0,05701
Grafite	0,20187	Stagno	0,05623
Vetro di termometri . . .	0,19768	Iodio	0,05412
Fosforo	0,18870	Antimonio	0,05077
Diamante	0,14687	Mercurio	0,03332
Ghisa bianca	0,12983	Oro	0,03244
Acciaio dolce	0,1175	Platino laminato	0,03243
Ferro	0,11379	Piombo	0,03140
Nichello	0,10863	Bismuto	0,03084

I numeri compresi in questa tavola rappresentano i calorici specifici medii fra zero e 100 gradi; in fatti risulta dai lavori di Dulong e Petit sul calore, che i calorici specifici aumentano colla temperatura. Per es., quelli dei metalli sono maggiori fra 100 e 200 gradi, che non sieno fra zero e 100 gradi, e maggiori ancora da 200 a 300. Cioè per innalzare la temperatura di un corpo da 200 a 250 gradi, si richiede una quantità di calorico maggiore di quello che abbisogna per elevarla da 100 a 150 gradi, ed in quest'ultimo caso, una quantità maggiore di quella che si richiede per innalzarla da zero a 50 gradi.

Insomma, l'aumento di calorico specifico colla temperatura è tanto più sensibile quanto più i corpi sono vicini al loro punto di fusione. All'incontro, ogni azione che aumenta la densità dei corpi e la loro aggregazione molecolare, ne diminuisce il calorico specifico.

Rispetto ai liquidi, il loro calorico specifico aumenta colla temperatura ancor più rapidamente di quello dei solidi. L'acqua però fa eccezione, giacchè il suo calorico specifico aumenta meno di quello degli altri liquidi

Finalmente, una stessa sostanza, allo stato liquido, presenta maggior calorico specifico che allo stato solido; ed allo stato gasoso, il calorico specifico è ancor maggiore che allo stato liquido.

360. Legge di Dulong e Petit sui calorici specifici degli atomi. — Nel 1819, Dulong e Petit fecero conoscere questa legge rimarchevole, che il prodotto del calorico specifico dei corpi semplici pel loro peso atomico è lo stesso per tutti i corpi ed uguale a 37; legge che si può esprimere dicendo che *pei corpi semplici i calorici specifici sono in ragione inversa dei pesi atomici*.

Regnault, dopo aver determinato con molta cura i calorici specifici di un gran numero di corpi, trovò che il prodotto del peso atomico pel calorico specifico non è rigorosamente costante come avevano annunciato Dulong e Petit, ma che questo prodotto varia soltanto fra 38 e 42, variazione che può risultare dal non essere i calorici specifici determinati a distanze uguali dal punto di fusione dei corpi.

Regnault inoltre fu condotto alle due leggi seguenti sui calorici specifici dei corpi composti e delle leghe:

1.ª *Nei corpi composti, che hanno la stessa formola atomica, il calorico specifico è in ragione inversa del peso atomico.*

2.ª *Per temperature un po' lontane dal punto di fusione, il calorico specifico delle leghe è esattamente la media dei calorici specifici dei metalli componenti.*

361. Calorico specifico dei gas. — Il calorico specifico dei gas viene riferito a quello dell'acqua od a quello dell'aria: nel primo caso, esso rappresenta la quantità di calorico necessaria per elevare di 1 grado un dato peso di gas, comparativamente a quello che si richiederebbe pel medesimo peso di acqua; nel secondo la quantità di calorico necessaria per elevare di 1 grado un volume dato di gas, comparativamente a quello che si richiederebbe per lo stesso volume di aria.

Inoltre, in quest'ultima maniera di considerare i calorici specifici dei gas, si può supporre che i gas stessi siano a *pressione costante* od a volume variabile; od a *volume costante*, sotto una pressione variabile.

I calorici specifici dei gas relativamente all'acqua furono determinati nel 1812 da Delaroche e Bérard. A quest'uopo, si misurava la quantità di calorico ceduta ad un peso conosciuto di acqua da un peso pure conosciuto di gas, il quale circolava in un serpentino collocato nel liquido. In seguito se ne deduceva il calorico specifico del gas per mezzo di un calcolo analogo a quello che fu indicato pel metodo delle mescolanze.

Gli stessi fisici determinarono i calorici specifici dei gas a pressione costante, relativamente all'aria, paragonando fra loro le quantità di calorico ceduto ad uno stesso peso d'acqua da volumi uguali di gas e d'aria, alla stessa temperatura ed alla pressione atmosferica durante tutto il corso dell'esperienza. In seguito ai lavori di Delaroche e Bérard, De la Rive e Marcet, nel 1835, applicarono alla stessa determinazione il metodo del raffreddamento.

Finalmente, i calorici specifici dei gas, a volume costante, sempre relativamente all'aria, furono calcolati da Dulong mediante la formola che fa conoscere la velocità di propagazione del suono nei differenti gas (202).

Dietro i calcoli di Laplace e di Poisson, e le esperienze di Clément e Désormes, di Delaroche e Bérard, di Gay-Lussac e Dulong, si era ammesso fino a questi ultimi tempi che il calorico specifico dei gas, a pressione costante, fosse sempre maggiore che a volume costante. Ma in un recente lavoro e con un metodo totalmente nuovo Regnault trovò che la differenza fra questi due calorici specifici è nulla o quasi nulla.

Delaroche e Bérard diedero sui calorici specifici dei gas la prima legge seguente, e Dulong la seconda:

1.° *A volume eguale, tutti i gas semplici hanno calorici specifici eguali.*

2.° *Quando due gas semplici si combinano senza condensazione, il gas risultante possiede, a volume eguale, lo stesso calorico specifico dei gas semplici componenti.*

Ma le esperienze di Regnault, mostrarono che la prima legge non è rigorosa che per i gas soggetti alla legge di Mariotte, cioè lontani dal loro punto di liquefazione. Le stesse esperienze non hanno confermato la seconda legge.

Calorici specifici dei gas semplici riguardo all'acqua.

GAS	A VOLUME EGUALE	A PESO EGUALE
Ossigeno	0,24049	0,21751
Idrogeno	0,23590	0,40900
Azoto	0,23680	0,24380
Cloro	0,29645	0,12099

362. Misura del calorico latente di fusione. — Sapendosi (300) che, quando i corpi passano dallo stato solido allo stato liquido, v'ha assorbimento di calorico latente più o meno considerevole, si chiama *calorico di fusione di un corpo solido, il numero di ca-*

lorie (352) *che assorbe un chilogrammo di questo corpo per passare, senza elevazione di temperatura, dallo stato solido allo stato liquido.* Il calorico di fusione dei corpi si determina col metodo dei miscugli, appoggiandosi su questo principio, che sembra evidente, che, quando un corpo allo stato liquido si solidifica, sviluppa una quantità di calorico rigorosamente eguale a quello che aveva assorbito durante la fusione.

Sia proposto, per es., di determinare il calorico di fusione del piombo. Si fonde un peso M di questo corpo, e dopo di averne riconosciuta la temperatura T, lo si versa in una massa d'acqua di cui sia noto il peso m e la temperatura t. Ciò posto, si rappresenti con c il calorico specifico del piombo, con x il suo calorico di fusione, cioè la quantità di calorico latente assorbita dall'unità di peso durante la fusione, o, ciò che è lo stesso, quella che viene restituita all'atto della solidificazione; finalmente, sia θ la temperatura finale che assume l'acqua riscaldata dal piombo.

La massa d'acqua, per riscaldarsi da t a θ gradi, assorbì una quantità di calorico rappresentata da $m(\theta - t)$ (354); d'altra parte, la massa di piombo raffreddandosi da T a θ ha ceduta una quantità di calorico $Mc(T - \theta)$; ed inoltre, al momento della solidificazione, ha sviluppato una quantità di calorico rappresentata da Mx. Si ha quindi l'equazione

$$Mc(T - \theta) + Mx = m(\theta - t),$$

$$\text{da cui } x = \frac{m(\theta - t) - Mc(T - \theta)}{M}.$$

363. **Calorico di fusione del ghiaccio.** — Il calorico di fusione del ghiaccio è quello che più importa di conoscere per le applicazioni che se ne ponno fare. Esso pure viene determinato col metodo delle mescolanze. Per ciò si rappresenti con M un peso di ghiaccio a zero, e con m un peso d'acqua calda a t gradi, sufficiente per fondere tutto il ghiaccio. Si getta quest'ultimo nell'acqua, ed appena che la fusione è compiuta, si misura la temperatura finale della mescolanza. Se si rappresenta con θ questa temperatura, l'acqua, essendosi raffreddata da t gradi a θ, ha ceduto una quantità di calorico eguale ad $m(t - \theta)$. Il ghiaccio poi, ove si rappresenti con x il suo calorico di fusione, assorbe per fondersi una quantità di calorico Mx; ma inoltre, dopo la fusione, l'acqua che ne proviene si riscalda e la sua temperatura si eleva da zero a θ gradi; quindi allora assorbe una quantità di calorico $M\theta$. Per ciò si ha finalmente l'equazione

$$Mx + M\theta = m(t - \theta);$$

da cui si deduce il valore di x.

Con questo processo, evitando con ogni possibile cura tutte le cause d'errore de La Provostaye e Desains trovarono che il calorico di fusione del ghiaccio è 79; vale a dire che 1 chilogrammo di ghiaccio, nel fondersi, assorbe, allo stato di calorico latente, la quantità di calorico che sarebbe necessario per elevare 79 chilogrammi d'acqua da zero ad 1 grado, o, ciò che torna lo stesso, 1 chilogrammo d'acqua da zero a 79 gradi.

Person, il quale fece numerose ricerche sui calorici di fusione, trovò sperimentalmente i numeri seguenti pei calorici di fusione di parecchi corpi semplici e composti:

Ghiaccio	79,25	Bismuto	12,64
Azotato di soda	62,97	Solfo	9,37
Zinco	28,13	Piombo	5,37
Argento	21,07	Fosforo	5,03
Stagno	14,25	Lega di Darcet	4,50
Cadmio	13,66	Mercurio	2,83

364. **Misura del calorico latente di vaporizzazione.** — Si è veduto (328) che i liquidi, vaporizzandosi, rendono latente una quantità di calorico considerevolissima, la quale si designa sotto nome di *calorico d'elasticità* o di *calorico di vaporizzazione*. Per determinare il *calorico di vaporizzazione* di un liquido, cioè *il numero di calori che assorbe un chilogrammo di questo liquido per vaporizzarsi senza aumento di temperatura*, si ammette come evidente che un vapore che si liquefa rende libera una quantità di calorico precisamente pari a quella che esso aveva assorbito vaporizzandosi.

Ciò posto, il metodo che si impiega è lo stesso di quello che si usa per la determinazione dei calorici specifici dei gas riguardo a quello dell'acqua. La fig. 258 rappresenta l'apparecchio impiegato in questo genere di ricerche da Despretz. Il vapore si produce in una storta C, in cui la sua temperatura è indicata da un termometro, e si rende in un serpentino immerso nell'acqua fredda. Là esso si condensa e cede al serpentino e all'acqua del vaso B il suo calorico latente. L'acqua che risulta dalla condensazione si porta in un recipiente P nel quale fa capo il serpentino, e dal quale si estrae, alla fine della esperienza, per pesarla, essendo il suo peso quello del vapore che circolò nell'apparecchio. Un agitatore A, che si muova colla mano, serve a mescolare gli strati

di acqua nel vaso B, perchè tutta la massa sia alla stessa temperatura. Questa è data da un termometro t posto nell'asse del serpentino. Finalmente, dal recipiente P parte un tubo terminato da un robinetto R. Quando si vuol far variare la pressione e di conseguenza la temperatura del vapore, si mette questo robinetto in comunicazione con un tubo di caoutchouc con una macchina pneumatica o con una pompa di compressione.

Conosciuti codesti particolari, per determinare il calorico di vaporizzazione del liquido che è nella storta, lo si scalda dapprima fino alla ebollizione, ed allora soltanto si fa comunicare la storta col serpentino; poi dopo di aver rotta la comunicazione, si raccoglie l'acqua che si è condensata nel recipiente P, e si pesa.

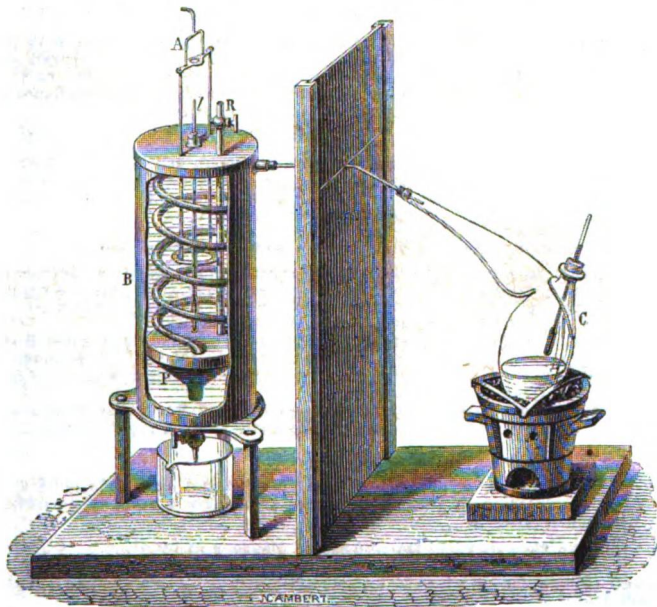



Fig. 259.

Ciò posto, si rappresenti con M il peso del vapore condensato, con T la sua temperatura all'istante in cui entra nel serpentino e con x il suo calorico di vaporizzazione. Del pari si rappresenti con m il peso dell'acqua nella quale è immerso il serpentino, aggiuntovi pure il peso del vaso B, del serpentino, del termometro e dell'agitatore ridotti in acqua (255), con t la temperatura iniziale dell'acqua e con θ la sua temperatura alla fine dell'esperimento.

Il calorico ceduto da un chilogrammo di vapore che si condensa essendo x, il calorico ceduto dagli M chilogrammi per il solo fatto della condensazione è Mx. Di più, indipendentemente da qualunque condensazione, il peso M, raffreddandosi da T a θ, perde una quantità di calorico rappresentata da $M(T-\theta)$; da cui si scorge che la quantità totale di calore ceduta dal vapore è $Mx + M(T-\theta)$. D'altronde il calorico assorbito dall'acqua, dal vaso e dagli accessori è $m(\theta - t)$; dunque si ha

$$Mx + M(T-\theta) = m(\theta - t), \text{ da cui } x = \frac{m(\theta - t) - M(T-\theta)}{M}.$$

Despretz in questa maniera ha trovato pel calorico d'elasticità del vapore acqueo, a 100°, il numero 540; cioè che 1 chilogrammo d'acqua, a 100 gradi, assorbe, vaporizzandosi, la quantità di calorico necessaria per elevare 540 chilogrammi d'acqua da zero ad 1 grado. Regnault ha trovato 537, Favre e Silbermann, 535,8.

365. **Problemi sui calorici specifici e sui calorici latenti.** — I. In un vaso che pesa 12 grammi e contiene 0^{lit} 15 d'acqua a 10 gradi, si getta un pezzo di ferro il cui peso è 20 grammi e la temperatura 98 gradi; la temperatura dell'acqua si innalza allora a 11°,29; si domanda quale sia il calorico specifico del ferro, sapendo che quello del vetro è 0,19768.

Questo problema si risolve per mezzo della formola [4] del paragrafo 355, sostituendo alle lettere M, m, m', c', t e θ, i numeri ad esse corrispondenti nel precedente enunciato Quanto al peso dell'acqua poi, siccome un litro di questo liquido pesa un chilogrammo, 0^{lit},15, ovvero, ciò che è lo stesso, 0^{lit},150, pesa 150 grammi, fatta astrazione dalla dilatazione dell'acqua da 4 a 10 gradi.

Ciò posto, facendo le sostituzioni nella formola indicata si ha

$$20\ (98 - 11{,}29)\ c = (150 + 12 \times 0{,}19768)\ (11{,}29 - 10),\ \text{d'onde}\ c = 0{,}113.$$

II. Una massa di platino, del peso di 40 grammi, è collocata in un forno e vi rimane un tempo sufficiente per acquistare la temperatura; venendo in seguito ritirata ed immersa in una massa d'acqua il cui peso è 84 grammi e la temperatura 12 gradi, si osserva che l'acqua viene riscaldata fino a 22 gradi; si domanda quale sia la temperatura del forno, sapendo che il calorico specifico del platino è 0,03243.

Se si rappresenta con t la temperatura cercata, il numero delle unità di calorico cedute dal platino, nel raffreddarsi da t gradi a 22, dietro la formola $m\ (t' - t)\ c$ del paragrafo 354, è $40 \times (t - 22) \times 0{,}03243$. Del pari, il numero delle unità di calorico assorbite dall'acqua, il cui calorico specifico è 1, per riscaldarsi da 12 gradi a 22, è 84 (22 — 12), ossia 840. Ora, siccome la quantità di calorico assorbita dall'acqua è necessariamente uguale a quella che viene perduta dal platino, si ha

$$40 \times (t - 22) \times 0{,}03243 = 840;\ \text{d'onde}\ t = 669\ \text{gradi}.$$

Bisogna notare però che questo valore di t è soltanto approssimativo, perchè il numero 0,03243 è il calorico specifico del platino fra zero e 100 gradi; ma si è veduto che ad una temperatura più elevata è maggiore (359), e quindi la temperatura trovata di 669 gradi è superiore alla temperatura effettiva del forno.

III. Praticata una cavità in un pezzo di ghiaccio, vi si rinchiude una massa di stagno del peso di 55 grammi e la cui temperatura venne portata a 100 gradi. Si domanda quale sarà il peso del ghiaccio fuso, sapendo che il calorico specifico dello stagno è 0,05623 e che il calorico di fusione del ghiaccio è 79.

Siccome lo stagno in questo caso si raffredda da 100 gradi fino a zero, il numero delle unità di calorico da esso perdute, dietro la formola mtc (354), è rappresentato da

$$55 \times 100 \times 0{,}05623.$$

Ora, poichè 1 chilogrammo di ghiaccio, a zero, per fondersi assorbe 79 unità di calorico (363), x chilogrammi di ghiaccio assorbono un numero d'unità rappresentato da $79 \times x$. Adunque si ha

$$79\ x = 55 \times 100 \times 0{,}05623;\ \text{d'onde}\ x = 3^{gr},9.$$

IV. Quanti chilogrammi di ghiaccio bisogna gettare in 9 litri d'acqua per raffreddarla da 20 gradi a 5?

Si rappresenti con M il peso cercato in chilogrammi; questo peso assorbirà, per fondersi, un numero di unità di calorico rappresentato da $79M$ (363), ma il peso M d'acqua, che ne risulta, essendo a zero al momento della fusione e dovendo riscaldarsi di 5 gradi, assorbe una quantità di calorico $5M$; per conseguenza, il calorico totale assorbito è $79\ M + 5\ M$ ossia $84\ M$. Il calorico ceduto dai 9 litri d'acqua, nel raffreddarsi da 20 gradi a 5, è 9 (20 — 5) ossia 135. Adunque si ha finalmente

$$84\ M = 135;\ \text{da cui}\ M = 1^{chil},607.$$

V. Qual è il peso del vapore d'acqua a 100 gradi, che nel condensarsi riscalda 208 litri d'acqua da 14 fino a 32 gradi?

Sia p questo peso in chilogrammi; siccome il calorico latente del vapor d'acqua è 540 (364), p chilogrammi di vapore, condensandosi, cedono una quantità di calorico rappresentata da $540 \times p$, e danno p chilogrammi d'acqua a 100 gradi. Ora quest'acqua raffreddandosi in seguito fino a 32 gradi, cede essa pure una quantità di calorico eguale a p (100 — 32), ossia $68\ p$. Del resto, siccome i 208 litri che si riscaldano da 14 a 32 gradi, pesano 208 chilogrammi, fatta sempre astrazione della dilatazione, assorbono una quantità di calorico uguale a 208 (32 — 14) ossia 3744 unità; quindi si ha

$$540\ p + 68\ p = 3744;\ \text{da cui}\ p = 6^{chil},158.$$

VI. In un vaso si ha dell'acqua ad 11 gradi; in un altro vaso dell'acqua a 91 gradi; quanti litri se ne dovranno levare da ciascuno di essi per formare un bagno di 250 litri a 31 gradi?

Siano x ed y i numeri dei litri che si debbono levare rispettivamente da ciascun vaso; fra queste quantità si ha dapprima la relazione $x + y = 250$ [1]. Per ottenere una seconda equazione in x e y, si osservi che x litri ad 11 gradi contengono 11 x unità di calorico, e che y litri a 91 gradi ne contengono un numero rappresentato da 91 y. Inoltre i 250 litri di mescolanza, a 31 gradi, contengono 250×31, ossia 7750 unità; si ha quindi l'equazione $11\,x + 91\,y = 7750$ [2].
Sciolte le equazioni [1] e [2], si trova $x = 187^{chil},5$, ed $y = 62^{chil},5$.

TEORIA DINAMICA DEL CALORICO

366. Equivalente meccanico del calorico. — Partendo dall'idea che lo svolgimento di calore è dovuto ad un moto vibratorio delle molecole, sottoposto alle leggi ordinarie della meccanica, parecchi geometri e fisici lavorano da alcuni anni per isviluppare una nuova teoria che indicano col nome di *teoria dinamica del calorico*, e colla quale si propongono di dimostrare non solo che una data quantità di calorico può essere trasformata in un lavoro meccanico (410) e reciprocamente, ma ben anche di calcolare il lavoro meccanico che può produrre una determinata quantità di calorico, o la quantità di calorico che può essere sviluppata da un dato lavoro meccanico. Si sa, infatti, che il calorico può produrre un lavoro meccanico, come avviene quando si adopera l'espansione dei vapori e la dilatazione dei gas; e che, reciprocamente, si può svolgere dal calore mediante un'azione meccanica come la percussione, la pressione e lo strofinamento (412 e 413). La teoria dinamica del calorico è uno degli studi cui si volgono molti; e merita infatti di fissare l'attenzione dei fisici e dei meccanici perchè può apportare dei miglioramenti della massima importanza per le macchine a vapore e per quelle ad aria calda.

Sembra che Mongolfier sia stato il primo tra i fisici che abbia annunciato esservi identità di natura tra il calorico ed il moto, non solo nel senso che il calorico è una causa di moto ed il moto una causa di calorico, ma anche nel senso che il calorico ed il moto sono due differenti manifestazioni, due diversi effetti di una causa unica, insomma, che il calorico può convertirsi in moto ed il moto in calorico.

Fondandosi sopra queste considerazioni teoriche, Mongolfier inventò, nel 1800, una macchina che chiamò *piro-ariete*, per mezzo della quale egli riteneva che il lavoro giornaliero di un cavallo-vapore (410) non dovesse costare che pochi centesimi. Il principio del piro-ariete consisteva nel dilatare per mezzo del calore una certa quantità d'aria che rimaneva sempre la stessa in un vaso chiuso; nel far servire quest'aumento di volume e di elasticità per sollevare una colonna d'acqua; e nel restituire poi a quella stessa massa di aria il calorico che essa dilatandosi aveva perduto e *convertito in effetto meccanico*, onde restituirle la forza elastica, e così di seguito.

Nel 1824, S. Carnot pubblicava un'opera intitolata *Riflessioni sulla potenza motrice del fuoco*, nella quale si trovano importantissime considerazioni sul modo di produrre il moto col mezzo del calore. Da allora in poi la teoria dinamica del calorico fu soggetto di lavori di parecchi dotti, e particolarmente di Joule, Thomson e Rankine in Inghilterra, di Mayer e Clausius in Germania, e di E. Clapeyron, Reech e Regnault in Francia.

Carnot ammetteva che, in una macchina a vapore, il lavoro meccanico prodotto è unicamente dovuto al *passaggio* del calorico, nella mac-

china, dalla caldaia al condensatore (405); poichè la quantità di calorico posseduta dal vapore al suo ingresso nei cilindri, trovasi ancora per intero nel vapore mentre esce. Nella nuova teoria la quantità di calorico che entra nella macchina non si conserverebbe tutta allo stato di calorico, ma una porzione scomparirebbe, durante il suo passaggio, *convertendosi* in effetto meccanico, ed in ogni caso il lavoro meccanico prodotto sarebbe proporzionale alla quantità di calorico che è scomparsa.

In questa teoria Joule ha denominato *equivalente meccanico del calorico* la quantità di lavoro che può produrre ogni unità di calorico (352); ovvero, ciò che torna lo stesso, la quantità di lavoro meccanico necessaria per isviluppare una unità di calorico. Per mezzo di molti esperimenti, Joule ha trovato che l'equivalente meccanico del calorico è espresso da 440 chilogrammetri (410); cioè che la quantità di calorico necessaria per iscaldare di un grado un chilogrammo d'acqua può sviluppare una forza motrice capace di innalzare, in un minuto secondo all'altezza di un metro, un peso di 440 chilogrammi.

Non potendo qui descrivere le esperienze di Joule, rimandiamo il lettore agli *Archivi delle scienze fisiche e naturali di Ginevra* (maggio 1854, pagina 37).

Parlando delle correnti di induzione, daremo due esempi rimarchevoli di effetti meccanici trasformati in calore in una esperienza d'induzione dovuta a Foucault, e nei nuovi apparati magneto-elettrici destinati all'illuminazione dei fari, dove la forza di un cavallo-vapore dà origine ad una brillante illuminazione elettrica.

CAPITOLO VIII.

CONDUCIBILITA' DEI SOLIDI, DEI LIQUIDI E DEI GAS

367. **Conducibilità dei solidi.** — La *conducibilità* è la proprietà che hanno i corpi di trasmettere il calorico più o meno facilmente nell'interno della loro massa. Si ammette che questo genere di propagazione si effettui per un irradiamento interno da molecola a molecola. Siccome non tutti i corpi conducono egualmente il calorico, così si chiamano *buoni conduttori* quelli che lo trasmettono facilmente, come sarebbero specialmente i metalli; e si chiamano *cattivi conduttori* quelli che presentano una resistenza più o meno grande alla propagazione del calorico, come sono il vetro, le resine, i legni, e principalmente i liquidi ed i gas.

Per paragonare la facoltà conduttrice dei solidi, Ingenhousz, medico olandese, morto alla fine del secolo passato, costrusse il piccolo apparato che porta il suo nome, e che è rappresentato dalla figura 259. È una cassa di latta, a cui sono fissate, mediante delle tubulature e dei turaccioli, delle verghe di diverse sostanze, per es., di ferro, di rame, di legno, di vetro. Queste verghe penetrano per alcuni millimetri nell'interno della cassa, e sono ricoperte di cera gialla, la quale si fonde

a 61 gradi. Riempita la cassa d'acqua bollente, si osserva che sopra alcune la cera entra tosto in fusione sino ad una distanza più o meno grande, mentre sopra altre non si scorge verun indizio di fusione. Il potere conduttore è evidentemente di tanto maggiore quanto più estesa è la parte sulla quale la cera è stata fusa.

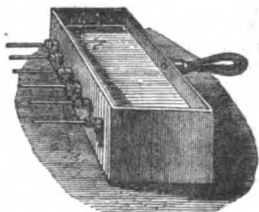



Fig. 259 (l = 22).

Despretz misurò la facoltà conduttrice dei solidi mediante l'apparato rappresentato dalla figura 260. È una spranga prismatica in cui sono praticate, di decimetro in decimetro, delle piccole cavità piene di mercurio, in ciascuna delle quali è immerso un termometro. Esposta questa spranga, con una delle sue estremità, ad una sorgente di calorico costante, si scorgono le colonne termometriche ascendere successivamente, partendo dalla sorgente, poi fermarsi a temperature fisse, ma decrescenti da un termometro al seguente. Con questo processo, Despretz verificò la legge seguente enunciata per la prima volta da Lambert di Berlino: *Quando le distanze dalla sorgente crescono in progressione aritmetica, gli eccessi di temperatura sull'aria ambiente decrescono in progressione geometrica.*

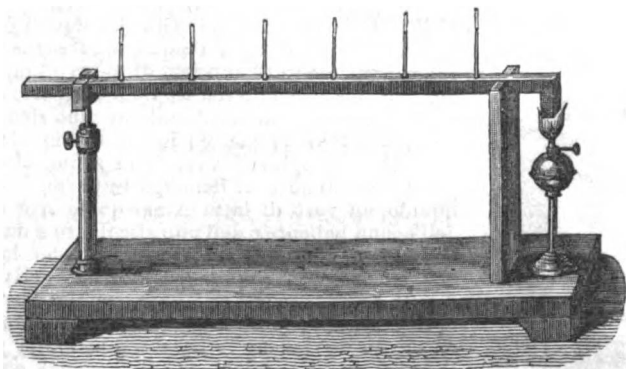



Fig. 260 (l. = 80).

Tuttavia, questa legge non si verifica che pei metalli ottimi conduttori, quali sono l'oro, il platino, l'argento ed il rame; essa non è che approssimativa pel ferro, lo zinco, il piombo, lo stagno, e per nulla applicabile ai corpi non metallici, come il marmo, la porcellana, ecc.

Rappresentando con 1000 la facoltà conduttrice dell'oro, Despretz ha trovato che quella delle sostanze seguenti è:

Platino	981	Stagno	304
Argento	973	Piombo	179
Rame	897	Marmo	23
Ferro	374	Porcellana	12
Zinco	363	Terra da mattoni	11

Wiedmann e Franz pubblicarono, nel 1853, negli *Annali di Poggendorff*, il risultato di lunghe ricerche sulla conducibilità dei metalli pel calorico. Onde non alterare la forma delle spranghe metalliche praticandovi delle cavità, come aveva fatto Despretz, il che distruggeva parzialmente la continuità dei metalli, questi fisici impiegarono un processo esente da tal causa d'errore. Essi misurarono la temperatura delle spranghe, nelle loro diverse parti, mediante correnti termo-elettriche che ottenevano applicando su queste parti il punto di saldatura d'un elemento della pila termo-elettrica di Melloni (lib. x, cap. 8).

Le spranghe metalliche erano della maggior possibile regolarità, e disposte in uno spazio di cui la temperatura era costante. Uno dei capi delle spranghe era in comunicazione con una sorgente di calorico; e l'elemento termo-elettrico che doveva essere posto a contatto colle spranghe, aveva dimensioni piccolissime, onde toglier loro pochissimo calorico.

Operando in tal modo, Wiedmann e Franz ottennero risultati notabilmente differenti da quelli di Despretz. Rappresentando con 100 la conducibilità dell'argento, per gli altri metalli trovarono i numeri seguenti:

Argento	100	Acciaio	11,6
Rame	77,6	Piombo	8,5
Oro	53,2	Platino	8,4
Stagno	14,5	Lega di Rose	2,8
Ferro	11,9	Bismuto	1,8

Le sostanze organiche conducono male il calorico; De La Rive, a Ginevra, dimostrò che la conducibilità dei legni è molto maggiore nel senso delle fibre di quello che lo sia trasversalmente, e che i legni i più compatti sono quelli che conducono meglio il calorico. La crusca, la lana, la paglia, il cotone, che sono corpi poco densi e formati, per così dire, di parti discontinue, sono assai cattivi conduttori.

368. **Conducibilità dei liquidi.** — La conducibilità dei liquidi è debolissima, come lo si può dimostrare mediante l'esperienza seguente. Si colloca sul fondo di un vaso di vetro cilindrico D (fig. 261) un piccolo termoscopio B composto di due sfere di vetro riunite mediante un tubo ricurvo *m*, nel quale avvi un piccolo indice di liquido colorato. Poi, riempito il vaso D di acqua alla temperatura ordinaria, si immerge in parte, in questo liquido, un vaso di latta A nel quale si è versata dell'acqua bollente o dell'olio riscaldato a duecento o trecento gradi. Allora si osserva che la sfera del termoscopio più vicina al fondo del vaso A non si riscalda che assai poco, perchè l'indice *m* non si sposta che di una quantità poco sensibile; da ciò se ne deduce la poca conducibilità dell'acqua pel calorico. Ripetendo l'esperienza con altri liquidi, si ottiene lo stesso risultato.

Fig. 261.

Esperimentando con un apparato analogo al precedente, dell'altezza di un metro e mezzo, mantenendo a temperatura costante l'acqua del vaso A, e disponendo dodici termometri gli uni sotto gli altri per tutta l'altezza del vaso D, Despretz ha trovato che il calorico si propaga nei liquidi secondo la stessa legge che nelle spranghe metalliche, ma che la conducibilità dei primi è incomparabilmente più debole.

369. **Modo di riscaldamento dei liquidi.** — Quando si riscaldano i liquidi alla loro parte inferiore, stante la loro poca conducibilità, il riscaldamento è prodotto principalmente dalle correnti ascendenti e discendenti che si stabiliscono nella loro massa. Queste correnti proven-

gono dalla dilatazione degli strati inferiori, i quali divenendo meno densi, si elevano nel liquido, e sono rimpiazzati dagli strati superiori più freddi e, per conseguenza, più densi. Si rendono visibili queste correnti gettando nell'acqua della segatura di legno che ascende e discende con essi. L'esperienza si dispone come mostra la figura 262.

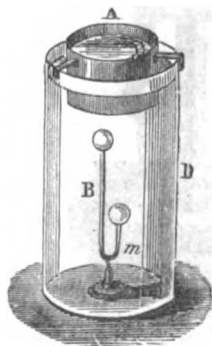



Fig. 262 (a. = 35).

870. **Conducibilità dei gas.** — Non si può valutare direttamente la facoltà conduttrice dei gas a motivo della loro grande diatermaneità e dell'estrema mobilità delle loro molecole; ma allorchè sono inceppati nei loro movimenti, la loro conducibilità si mostra pressochè nulla. In fatti, si osserva che tutte le sostanze tra le cui filamenta resta imprigionata l'aria, presentano una grande resistenza alla propagazione del calorico: tali sono la paglia, la lanuggine, le pellicce. Quando una massa gasosa si scalda, il riscaldamento proviene principalmente pel suo contatto con un corpo caldo, e per le correnti ascendenti che provengono dalla dilatazione, come nei liquidi.

371. **Conducibilità dell'idrogeno.** — Magnus, a Berlino, ha recentemente cercato la conducibilità propria di ciascun gas, mediante un tubo di vetro chiuso con un robinetto e disposto verticalmente. Nella parte inferiore interna del tubo trovavasi un termometro che si osservava attraverso al vetro, mentre l'estremità superiore era mantenuta a 100 gradi. Esperimentando con questo tubo dapprima vuoto e successivamente riempito di diversi gas più o meno condensati, Magnus ottenne i seguenti risultati:

1.° La temperatura del termometro si eleva maggiormente nell'idrogeno che non negli altri gas;

2.° Essa è maggiore nell'idrogeno che nel vuoto, e tanto maggiore quanto più questo gas è condensato;

3.° In altri gas che non sia l'idrogeno, la temperatura è meno elevata che non nel vuoto, e tanto di meno quanto più i gas sono condensati.

La conducibilità rimarchevole dell'idrogeno per il calorico sarebbe una conferma dell'opinione emessa da diversi chimici che questo gas sia un metallo.

372. **Applicazioni della conducibilità.** — La maggiore o minor conducibilità dei corpi trova numerose applicazioni. Quando, per es., si tratta di conservar caldo un liquido per lungo tempo, lo si chiude in un vaso a doppia parete, e se ne riempie l'intervallo di materie non conduttrici, come segatura di legno, vetro, carbone triturato, paglia. Si adopra lo stesso mezzo per impedire ad un corpo di assorbire calorico; così per conservare il ghiaccio nella stagione calda lo si avvolge nella paglia od in una coperta di lana.

Nelle nostre abitazioni, il pavimento di mattoni ci sembra più freddo del tavolato perchè conduce meglio il calorico. La sensazione di caldo o di freddo che proviamo al contatto di certi corpi è dovuta alla loro conducibilità. Se la loro temperatura è meno elevata di quella del nostro corpo, ci sembrano più freddi che non lo siano effettivamente per-

chè ci sottraggono del calorico per la loro conducibilità; questo accade pel marmo; se all'incontro la loro temperatura è superiore a quella del nostro corpo, ci sembrano più caldi che non lo siano realmente pel calorico che ci trasmettono da diversi punti della loro massa; tale è il fenomeno che ci presenta una spranga di ferro esposta al sole.

CAPITOLO IX.

IRRADIAZIONE DEL CALORICO

373. **Propagazione del calorico in un mezzo omogeneo.** — La temperatura di un corpo collocato in un ambiente più caldo o più freddo si innalza o si abbassa progressivamente sino a raggiungere quella dell'ambiente; d'onde si conchiude che il corpo ha guadagnato o perduto una certa quantità di calorico ricevendola dai corpi vicini, o cedendola ai medesimi. Adunque il calorico si trasmette da un corpo ad un altro attraverso allo spazio, alla stessa maniera della luce. Il calorico che si propaga così a distanza si denomina *calorico raggiante*, e chiamasi *raggio di calorico* o *raggio calorifico* la linea retta che percorre propagandosi.

Il calorico si trasmette anche per entro alla massa dei corpi; allora si produce una vera irradiazione interna da molecola a molecola, il quale fenomeno venne già studiato (367) sotto il nome di *conducibilità*.

374. **Leggi dell'irradiazione.** — L'irradiazione del calorico è soggetta alle tre leggi seguenti:

1.ª *L'irradiazione avviene in tutte le direzioni intorno ai corpi.* Infatti, se si colloca un termometro in differenti posizioni attorno ad un corpo caldo, indica sempre un innalzamento di temperatura.

2.ª *In un mezzo omogeneo l'irradiazione si effettua in linea retta.* Di fatti, se si interpone un diaframma in linea retta tra una sorgente calorifica ed un termometro, quest'ultimo cessa di sentire l'influenza della sorgente.

Ma quando passano da un mezzo all'altro, per es., dall'aria nel vetro, i raggi calorifici, al pari dei luminosi, sono generalmente deviati; questo fenomeno si chiama *rifrazione*, ed è soggetto alle stesse leggi che esporremo parlando della luce.

3.ª *Il calorico raggiante si propaga nel vuoto come nell'aria.* Ciò si dimostra ponendo un piccolo termometro entro un globo di vetro fissato ad un tubo barometrico (fig. 263). Un vuoto perfetto esistendo allora nel pallone, se si avvicina un corpo caldo, si vede elevarsi la colonna termometrica; il qual fenomeno non può attribuirsi che all'ir-

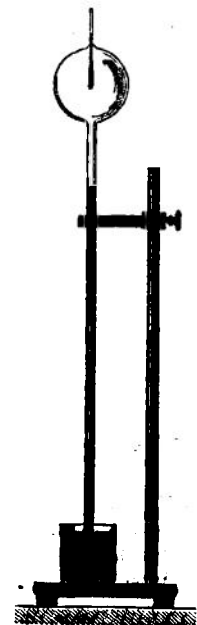



Fig. 263.

radiazione nel vuoto, poichè abbiam veduto (367) che il vetro non conduce abbastanza il calorico acciò la propagazione possa effettuarsi per mezzo delle pareti del globo e dell'asta del termometro.

La velocità di propagazione del calorico non è stata determinata; si sa soltanto che essa deve differire poco da quella della luce, se pure non le è assolutamente eguale, perchè la luce solare e la maggior parte delle luci artificiali sono costantemente accompagnate da raggi calorifici.

375. **Cause che fanno variare l'intensità del calorico raggiante.** — Prendendo per *intensità del calorico* la quantità di calore ricevuta sull'unità di superficie, nell'unità di tempo, si trova che può essere modificata da tre cause: cioè, dalla temperatura della sorgente di calorico, dalla sua distanza e dall'obbliquità dei raggi calorifici rispetto alla superficie che gli emette. Infatti, sull'intensità del calorico raggiante si osservano le tre leggi seguenti:

1.ª *L'intensità del calorico raggiante è proporzionale alla temperatura della sorgente;*

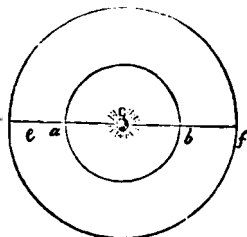
2.ª *Questa intensità è in ragione inversa del quadrato della distanza;*

3.ª *L'intensità dei raggi calorifici è tanto minore quanto più obbliqua è la direzione dell'emissione rispetto alla superficie irradiante.*

La prima legge si dimostra presentando una delle sfere del termometro differenziale (265) a sorgenti diverse di calore, per es. ad un cubo di latta riempito successivamente d'acqua a 30°, a 20° ed a 10°. Allora si osserva che, a pari distanza, il termometro indica temperature che stanno tra loro nello stesso rapporto di quelle del cubo, per esempio, come 6, 4, 2 (377, 2.ª).

Per dimostrare sperimentalmente la seconda legge, si colloca il termometro differenziale ad una determinata distanza da una sorgente di calore costante, poi ad una distanza doppia, e si osserva che il termometro, in questa seconda posizione, indica una temperatura quattro volte minore della prima. Ad una distanza tripla, esso segna una temperatura nove volte minore.

Fig. 264.

Questa seconda legge si dimostra anche basandosi sul teorema di geometria, che la superficie di una sfera cresce come il quadrato del suo raggio. Infatti, se si immagina una sfera cava *ab* (fig. 264) di raggio qualunque, al centro della quale esista una sorgente costante di calore C, ogni unità di superficie della sua parete interna riceve una certa quantità di calorico. Ora, se si considera una sfera *ef*, di raggio doppio, la sua superficie, giusta il teorema citato, sarebbe quadruplicata; quindi la parete interna conterrebbe il quadruplo di unità di superficie, e siccome la quantità di calorico emessa dal centro rimane la stessa, ciascuna di queste unità ne riceverebbe necessariamente la quarta parte.

La terza legge può essere dimostrata come insegna Leslie, nel modo seguente: si colloca davanti ad uno specchio concavo una scatola di latta *mn* (fig. 265), cilindrica ed a pareti sottili, la quale può essere inclinata più o meno attorno ad un asse orizzontale. La parte anteriore di questa scatola è coperta di nero fumo, ed alla sua parte superiore avvi una tubulatura che serve a riempirla d'acqua calda. Finalmente,

fra la scatola e lo specchio vi sono due diaframmi H e K in cui sono praticate due aperture circolari eguali per le quali passa un fascio di raggi paralleli incidenti sullo specchio.

Ciò posto, collocato un termometro differenziale al fuoco dello specchio, si incomincia dal dare alla scatola piena d'acqua calda la posizione verticale indicata dalle linee punteggiate, e la si lascia così finchè la temperatura marcata dal termometro sia divenuta stazionaria; poi, dando alla scatola la posizione inclinata *mn*, si attende che il termometro sia ritornato stazionario. Ora, si osserva che in ambedue i casi il termometro segna esattamente la stessa temperatura, il che dimostra la legge

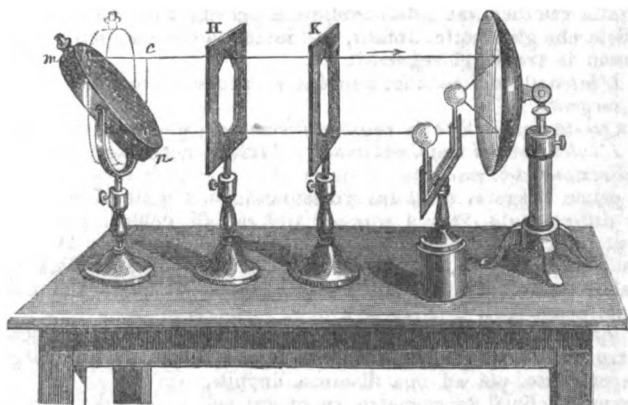



Fig. 265.

enunciata. Infatti, nel primo caso, la parte della superficie della scatola che trasmette dei raggi verso lo specchio è rappresentata da un cerchio avente per diametro *ac*, ed eguale quindi all'apertura dei diaframmi; nel secondo caso la superficie che irradia verso lo specchio è un elisse avente per grande asse *ab* e per piccolo asse il diametro dei diaframmi, cioè *ac*; adunque questa seconda superficie è più grande della prima e quindi emette maggior quantità di raggi verso lo specchio. Ora, giacchè l'effetto prodotto sul termometro non è più intenso che nel primo caso, ciò mostra che nel secondo caso, in cui i raggi sono obbliqui alla superficie irradiante, l'intensità è minore che nel primo in cui sono perpendicolari alla stessa superficie.

Per tradurre in formola questa terza legge si rappresenti con i l'intensità dei raggi perpendicolari alla superficie, con e i' quella dei raggi obbliqui. Queste intensità essendo necessariamente in ragione inversa delle superficie *ab* ed *ac*, giacchè l'effetto è eguale per ambedue, si ha $i' \times$ superf. $ab = i \times$ superf. *ac*. Ora siccome la superficie *ac* non è altro che la proiezione della superficie *ab*, si sa da un teorema conosciuto in trigonometria che superf. $ac =$ superf. $ab \times \cos bac$. Introducendo questo valore nell'eguaglianza superiore e sopprimendo il fattore superf. *ab*, comune ai due membri, si ha $i' = i \times \cos bac$; d'onde si conchiude che *l'intensità dei raggi obbliqui è proporzionale al coseno dell'angolo formato dai raggi colla normale alla superficie*; essendo facile riconoscere che quest'angolo è lo stesso dell'angolo *bac*. Questa legge conosciuta sotto il nome di *legge del coseno*, non è generale; infatti, i Dessins e De La Provostaye hanno constatato che essa non si verifica che in un caso limitatissimo, quello cioè in cui i corpi sono, come il nero fumo, privi di potere riflettente (383).

376. **Equilibrio mobile di temperatura.** — Due ipotesi si sono fatte sull'irradiazione. Nella prima si suppone che quando due corpi a differenti temperature sono in presenza l'uno dell'altro, avvi irradiazione soltanto dal corpo più caldo verso il meno caldo, il quale non emette calorico verso il primo, e ciò fino a tanto che la temperatura del corpo più caldo abbassandosi gradatamente diventi eguale a quella dell'altro corpo; allora cessa ogni irradiazione. A quest'ipotesi si è surrogata la seguente, dovuta a Prévost di Ginevra, la quale è la sola ammessa oggidì. Secondo questo scienziato, tutti i corpi, qualunque sia la loro temperatura, emettono costantemente del calorico in tutte le direzioni; per conseguenza avvi perdita di calorico, ossia raffreddamento per quelli la cui temperatura è più alta, perchè i raggi che essi emettono hanno intensità maggiore di quelli che ricevono. Al contrario guadagnano calorico, cioè si riscaldano, quelli la cui temperatura è più bassa. Giunge poi un istante in cui la temperatura è la stessa per gli uni e per gli altri; i corpi tuttavia si scambiano ancora tra loro del calorico in modo però che ciascuno ne riceve quanto ne emette, onde la temperatura rimane costante. Questo stato particolare si indica col nome di *equilibrio mobile di temperatura.*

377. **Legge di Newton sul raffreddamento.** — Un corpo collocato in un ambiente vuoto si raffredda o si riscalda soltanto per irradiazione. Nell'atmosfera, si raffredda o si riscalda per irradiazione e pel suo contatto coll'aria. In ambedue i casi la velocità del raffreddamento o del riscaldamento, cioè *la quantità di calorico perduta od assorbita in un secondo* è tanto maggiore quanto più grande è la differenza di temperatura.

Newton stabilì pel raffreddamento e pel riscaldamento dei corpi la legge seguente: *La quantità di calorico che un corpo perde o guadagna in un minuto secondo è proporzionale alla differenza tra la sua temperatura e quella dell'ambiente.* Dulong e Petit dimostrarono che questa legge non è così generale come aveva supposto Newton, e che si deve applicarla soltanto a differenze di temperatura che non oltrepassano dai 15 ai 20 gradi. Oltre questo limite, la quantità di calorico perduta od assorbita è maggiore di quella indicata dalla suddetta legge.

Dalla legge di Newton si deducono le seguenti conseguenze:

1.ª Quando un corpo è esposto ad una sorgente costante di calore, la sua temperatura non può innalzarsi indefinitamente; perchè la quantità di calorico che esso riceve in tempi eguali è sempre la stessa, mentre quella che perde cresce col crescere dell'eccesso della sua temperatura su quella dell'aria ambiente. Giunge dunque un momento in cui la quantità di calorico emessa eguaglia quella assorbita, ed allora la temperatura rimane stazionaria.

2.ª La legge di Newton, applicata al termometro differenziale, mostra che le indicazioni di questo stromento sono proporzionali alle quantità di calorico ch'esso riceve. Infatti, suppongasi che uno dei bulbi d'un termometro differenziale riceva i raggi emessi da una sorgente costante. Lo strumento indica sulle prime un aumento successivo di temperatura, poi diviene stazionario, come rilevasi dalla posizione fissa che prende l'indice; allora la quantità di calorico che il bulbo riceve è uguale a quella che emette. Ma quest'ultima, dietro la legge di Newton, è proporzionale all'eccesso della temperatura del bulbo su quella dell'ambiente, cioè al numero di gradi segnati dal termometro. Dunque *la temperatura indicata da un termometro differenziale è proporzionale alla quantità di calorico ch'esso riceve.*

RIFLESSIONE, EMISSIONE ED ASSORBIMENTO DEL CALORICO

378. **Leggi della riflessione.** — Quando i raggi calorifici cadono sulla superficie di un corpo, si dividono generalmente in due parti: alcuni penetrano nella massa del corpo, altri rimbalzano quasi respinti dalla superficie medesima, come avviene di una palla elastica, il che si esprime dicendo che sono *riflessi.*

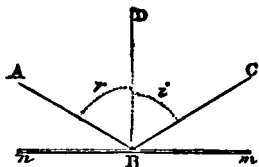



Fig. 266.

Se si rappresenta con *mn* (fig. 266) una superficie riflettente piana, con CB il *raggio incidente,* con BD una retta perpendicolare alla superficie che dicesi *normale*, con BA il *raggio riflesso*, l'angolo CBD chiamasi l'*angolo di incidenza,* e DBA l'*angolo di riflessione.* Ciò posto, la riflessione del calorico, come quella della luce, è sottoposta alle due leggi seguenti:

1.ª *L'angolo di riflessione è uguale all'angolo di incidenza;*

2.ª *Il raggio incidente ed il raggio riflesso sono in uno stesso piano perpendicolare alla superficie riflettente.*

Queste due leggi si dimostrano col mezzo degli specchi concavi (380).

379. **Riflessione sugli specchi concavi.** — Si chiamano *specchi concavi* o *riflettori* le superficie sferiche o paraboliche di metallo o di vetro che servono a concentrare in un punto dei raggi luminosi o calorifici.

Noi considereremo soltanto gli specchi sferici. La figura 268 mostra due di questi specchi, e la figura 267 ne presenta la sezione principale, che è quella di mezzo. Il centro C della sfera, alla superficie della quale

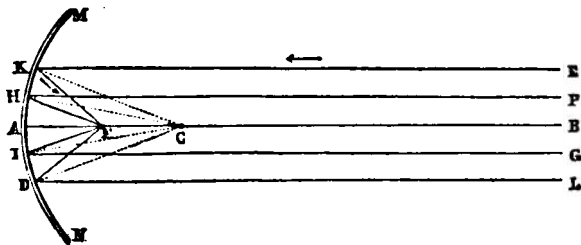



Fig. 267.

lo specchio appartiene, si chiama *centro di curvatura;* A, punto di mezzo del riflettore, dicesi *centro di figura;* finalmente, la retta AB, passante per questi due punti, è l'*asse principale* dello specchio.

Per applicare agli specchi sferici le leggi della riflessione sulle superficie piane, si considerano come formati da un infinito numero di superficie piane infinitamente piccole, appartenente ciascuna al piano tangente corrispondente; questa ipotesi permette di dimostrare colla geometria che le normali a queste piccole superficie vanno tutte a concorrere nel centro di curvatura.

Ciò posto, suppongasi collocata sull'asse AB dello specchio MN una sorgente calorifica abbastanza lontana perchè i raggi EK, PH... da essa emanati si possano considerare come paralleli tra loro. Dietro l'ipotesi premessa che lo specchio sia formato da un infinito numero di piccoli elementi piani, il raggio EK si riflette sull'elemento K precisamente come sopra uno specchio piano; cioè, essendo CK la normale a questo elemento, il raggio prende una direzione KF, tale che l'angolo CKF è uguale all'angolo CKE. Siccome gli altri raggi PH, GI..., si riflettono nella stessa guisa, così tutti questi raggi, dopo la loro riflessione concorrono sensibilmente in un medesimo punto F che è il punto di mezzo della AC, come si dimostrerà in ottica. Adunque in F avvi una concentrazione di raggi calorifici, e per conseguenza un innalzamento di temperatura maggiore che in ogni altro punto. Quindi quel punto ebbe il nome di *foco*. La distanza FA dal foco allo specchio si chiama la *distanza focale*

Nella figura 267 il calorico si propaga, secondo le linee EKF, LDF..., nella direzione delle frecce; ma se il corpo caldo fosse collocato in F, il calorico si propagherebbe secondo le linee FKE, FDL..., di maniera che i raggi emessi dal foco diventerebbero, dopo la riflessione, paralleli tra loro; da che risulta che il calorico trasmesso tenderebbe in tal caso a conservare sempre la stessa intensità.

380. **Dimostrazione delle leggi della riflessione.** — L'esperienza seguente, fatta per la prima volta da Pictet e Saussure, a Ginevra, e

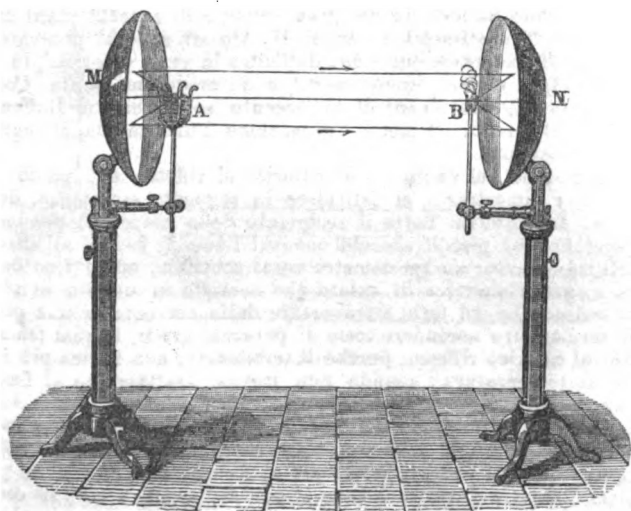



Fig. 268 (a. = 1m,50).

conosciuta sotto il nome di *esperienza degli specchi coniugati*, dimostra l'esistenza dei fochi, ed in pari tempo le leggi della riflessione del calorico. Si dispongono due riflettori M e N (fig. 268) a distanza di 4 o 5 me-

tri l'uno dall'altro, in modo che i loro assi coincidano. Al foco dell'uno in un piccolo cestello di filo di ferro A, si collocano dei carboni accesi; al foco dell'altro si pone un corpo accensibile B, per es. dell'esca. I raggi emessi dalla sorgente A si riflettono una prima volta sullo specchio M al cui foco trovasi la sorgente. Per effetto di questa riflessione, avendo presa una direzione parallela all'asse (379), i raggi si riflettono una seconda volta sull'altro specchio e concorrono nel suo foco B. Di fatti, il pezzo d'esca ivi collocato si accende, mentre non s'accende se trovasi al di qua o al di là del foco.

Questo esperimento serve inoltre a dimostrare che il calorico e la luce riflettono secondo le stesse leggi. Perciò si colloca al foco A una candela accesa ed al foco B un diaframma di vetro smerigliato, e si osserva su quest'ultimo un foco luminoso precisamente dove si era accesa l'esca. Adunque il foco luminoso ed il foco calorifico si formano allo stesso punto; d'onde si deduce che la riflessione avviene secondo le stesse leggi in amendue i casi. Ora si dimostrerà più innanzi che per la luce, l'angolo di riflessione è uguale all'angolo d'incidenza, e che il raggio incidente ed il riflesso sono in uno stesso piano perpendicolare alla sua superficie riflettente (440); dunque *altrettanto avviene pel calorico.*

Gli specchi concavi, a motivo della elevazione di temperatura che si può ottenere ai loro fochi, vennero distinti col nome di *specchi ustorii.* Si racconta che Archimede incendiò i vascelli romani dinanzi a Siracusa col mezzo di tali specchi. Buffon costrusse degli specchi ustorii la cui potenza prova la possibilità del fatto attribuito ad Archimede. Questi specchi erano formati da un gran numero di specchi piani di cristallo, lunghi 22 centimetri e larghi 16. Questi specchi potevano essere mossi indipendentemente l'uno dall'altro in varie direzioni, in modo che tutti i raggi riflessi concorressero in un medesimo punto. Con 128 di questi specchi, per mezzo di un cocente sole d'estate, Buffon produsse alla distanza di 68 metri, l'accensione d'una tavola di legno intonacata di catrame.

381. **Riflessione nel vuoto.** — Il calorico si riflette nel vuoto come nell'aria. Per dimostrarlo, si istituisce la seguente esperienza, dovuta a Davy in Inghilterra. Sotto il recipiente della macchina pneumatica si dispongono due piccoli specchi concavi l'uno di fronte all'altro. Al foco dell'uno trovasi un termometro assai sensibile, ed al foco dell'altro una sorgente elettrica di calore che consiste in un filo di platino reso incandescente col farlo attraversare dalla corrente di una pila. Si vede il termometro ascendere tosto di parecchi gradi, il qual fenomeno è dovuto al calorico riflesso; perchè il termometro non indica più innalzamento di temperatura, quando non trovasi esattamente al foco del secondo specchio.

382. **Apparente riflessione del freddo.** — Se si pongono due specchi concavi l'uno di fronte all'altro, come rappresenta la figura 268, ed in luogo di carboni ardenti si colloca al foco di uno di essi un pezzo di ghiaccio, mentre l'aria ambiente è, per es. a 12° o 15°, si osserva che un termometro differenziale posto al foco del secondo specchio indica un raffreddamento di parecchi gradi. Questo fenomeno sembra a primo aspetto prodotto dai raggi frigoriferi emessi dal ghiaccio. Ma questa così detta *riflessione apparente del freddo* si spiega dietro ciò che si è esposto (376) sull'equilibrio di temperatura che tende sempre a stabilirsi tra i corpi. V'è ancora scambio di calorico, come nell'espe-

rimento in cui s'accende l'esca; ma sono inversi gli uffici, perchè in questo caso il corpo caldo è il termometro. Siccome i raggi emessi dal termometro sono più intensi di quelli che emette il ghiaccio, così non v'è compensazione tra il calorico che il termometro cede e quello che riceve; e quindi si raffredda.

A questa stessa causa bisogna riferire il freddo che noi sentiamo talvolta presso ad un muro di mattoni o di pietra, ed in generale presso ad ogni corpo la cui temperatura sia inferiore a quella del nostro.

383. **Potere riflettente**. — Si chiama *potere riflettente* la proprietà che hanno i corpi di riflettere una parte più o men grande del calorico incidente.

Il potere riflettente varia da una sostanza all'altra. Per istudiare questo potere sopra varie sostanze, senza aver bisogno di costruire con esse altrettanti specchi, Leslie dispose le sue esperienze come mostra la figura 269. La sorgente di calore è un cubo M pieno d'acqua a 100°.

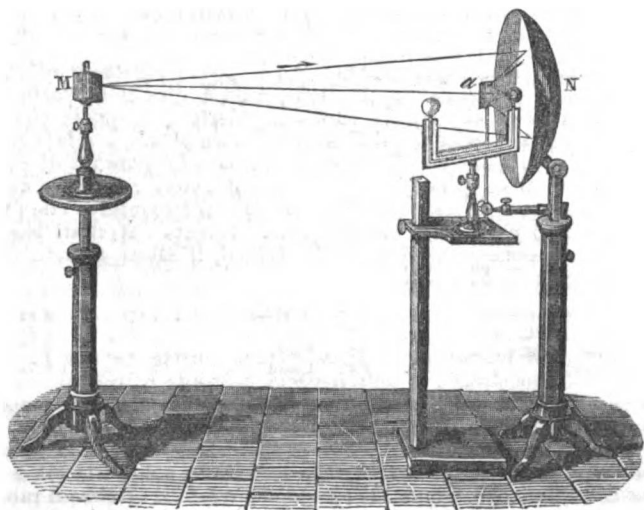



Fig. 269 (a. = 1m,50).

Sull'asse d'uno specchio sferico N, tra il foco e lo specchio, trovasi fissata una piastra *a* della sostanza di cui si cerca il potere riflettente. Per questa disposizione, i raggi emessi dalla sorgente e riflessi una prima volta sullo specchio, incontrano la piastra *a*, vi si riflettono di nuovo e formano il loro foco tra la piastra e lo specchio, in un punto in cui si colloca il bulbo di un termoscopio. Ora, lo specchio ed il termoscopio restando sempre gli stessi, e l'acqua del cubo trovandosi sempre a 100°, si osserva che la temperatura indicata dal termoscopio varia colla natura delle piastre *a* soggetta all'esperimento; d'onde si deduce non già il potere riflettente assoluto di un corpo, ma il rapporto di questo potere a quello di un altro corpo, preso per termine di confronto.

Infatti, di conformità a quanto si è detto (377, 2.ª) sull'applicazione della legge di Newton al termometro differenziale, le temperature indicate da questo strumento sono proporzionali alla quantità di calorico ch'esso riceve. Per conseguenza, se, per es., una piastra di vetro ed una di piombo fanno avanzare il termometro differenziale l'una di 1 grado, l'altra di 6, si deve inferirne che la quantità di calorico riflessa dal piombo è 6 volte quella riflessa dal vetro; perchè, la quantità di calorico emessa dalla sorgente essendo la stessa, lo specchio concavo ne riflette la stessa porzione, e la differenza non può provenire che dal potere riflettente delle piastre *a*.

Mediante questo processo, rappresentando con 100 il potere riflettente dell'ottone, preso per termine di confronto, Leslie formò la seguente tavola dei poteri riflettenti relativi:

Ottone levigato	100	Inchiostro della China	13
Argento	90	Stagno amalgamato	10
Stagno applanato	80	Vetro	10
Acciaio	70	Vetro bagnato d'olio	5
Piombo	60	Nero di fumo	0

Questi numeri non rappresentano che il *potere riflettente relativo* di diverse sostanze per rapporto all'ottone, vale a dire il rapporto tra la quantità di calorico che queste sostanze riflettono e quella che è riflessa, nella stessa circostanza, dall'ottone. Il loro potere *assoluto* sarebbe il *rapporto fra la quantità di calorico riflesso e la quantità di calorico incidente*. Melloni pel primo ha determinato il potere riflettente assoluto di un certo numero di sostanze. Desains e De La Provostaye che l'hanno anch'essi cercato per diversi metalli, hanno trovato i risultati seguenti, col mezzo del termo-moltiplicatore di Melloni, il calore essendo riflesso sotto un angolo di 50 gradi:

Placché d'argento	0,97	Acciaio	0,82
Oro	0,95	Zinco	0,81
Ottone e rame	0,93	Ferro	0,77
Platino	0,83	Ghisa	0,74

Fra poco (387) si vedrà quali sieno le cause che modificano, per uno stesso corpo, il potere riflettente.

384. **Potere assorbente.** — Il *potere assorbente* dei corpi è la proprietà ch'essi hanno di lasciar penetrare nella loro massa una parte più o meno grande del calorico incidente. Il suo *valore assoluto* sarebbe il rapporto fra la quantità di calorico assorbito e quella incidente.

Il potere assorbente di un corpo è sempre in ordine inverso del suo potere riflettente; cioè, quanto più un corpo riflette il calorico, tanto meno l'assorbe e reciprocamente. Ma i due poteri non sono complementari: cioè, la somma della quantità di calorico riflessa ed assorbita non rappresenta la totalità del calorico incidente. Essa ne è sempre minore, perchè il calorico incidente si divide realmente in tre parti: 1.ª una che è assorbita; 2.ª un'altra che è riflessa regolarmente, cioè, secondo le leggi più sopra dimostrate (378); 3.ª una terza che è riflessa irregolarmente, cioè in tutte le direzioni, e che chiamasi *calorico diffuso* (399).

Per determinare il potere assorbente dei corpi, Leslie fece uso dell'apparecchio già adoperato nella ricerca dei poteri riflettenti (fig. 269). Sopprimeva però la piastra *a* e collocava il bulbo del termoscopio nel

foco stesso dello specchio. Essendo questa sfera successivamente coperta di nero-fumo, di vernice, di foglie d'oro, d'argento, di rame, ecc., il termoscopio, sotto l'influenza della sorgente di calore M, indicava una temperatura tanto più elevata quanto più grande era il potere assorbente della sostanza che inviluppava la sfera focale. Leslie constatò per tal guisa che il potere assorbente di un corpo è tanto maggiore quanto più piccolo è il suo potere riflettente. Tuttavia, in queste esperienze, il rapporto dei poteri assorbenti non si può desumere da quello delle temperature indicate dal termoscopio, perchè qui non è applicabile rigorosamente la legge di Newton, la quale sussiste soltanto per corpi della stessa natura; mentre l'inviluppo che copre la sfera posta al foco viene mutato a ciascuna osservazione. Ma si vedrà fra poco (396) come si possano dedurre i rapporti dei poteri assorbenti da quelli degli emissivi.

Prendendo per fonte di calore un cubo ripieno d'acqua a 100 gradi, Melloni, col suo termo-moltiplicatore, ha trovato i poteri assorbenti relativi seguenti:

Nero di fumo.	100	Inchiostro della China . . .	85
Bianco di cerussa	100	Gomma lacca.	72
Colla di pesce	91	Metalli	13

385. **Potere emissivo.** — Il *potere emissivo* dei corpi è la loro proprietà di emettere, a parità di temperatura e di superficie, una più o meno grande quantità di calorico.

Leslie adoperò l'apparecchio rappresentato dalla figura 269 anche per determinare il potere emissivo dei corpi. A questo intento, la sfera del termoscopio era collocata precisamente nel foco dello specchio, e le facce del cubo M erano formate di metalli differenti, o coperte di diverse sostanze, come sarebbero il nero-fumo, la carta, ecc. Empito il cubo d'acqua a 100°, ed a parità di tutte le altre circostanze, Leslie volgeva successivamente verso lo specchio ciascuna delle facce del cubo, e notava le temperature indicate dal termoscopio. Ora, per la faccia coperta di nero di fumo, la temperatura, al foco dello specchio, si innalzava di più che per tutte le altre, e le facce metalliche erano quelle che producevano le temperature più basse. Applicando qui la legge di Newton, e rappresentando con 100 il calorico emesso dal nero di fumo, Leslie formò la seguente tavola dei poteri emissivi relativi:

Nero di fumo.	100	Colla di pesce	80
Cerussa.	100	Piombo non lucente	45
Carta.	98	Mercurio	20
Cera lacca.	95	Piombo raschiato	19
Vetro bianco ordinario . . .	90	Ferro levigato	15
Inchiostro della China . . .	88	Stagno, oro, argento, rame, ec.	12

Importa notare che in questa tavola, l'ordine dei corpi è precisamente inverso di quello della tavola dei poteri riflettenti. De La Provostaye e Desains, facendo uso del termo-moltiplicatore, trovarono i numeri seguenti pei poteri emissivi dei metalli, rapportati a quello del nero di fumo rappresentato da 100:

Platino laminato	10,80	Oro in foglie.	4,28
— brunito.	9,50	Argento vergine laminato .	3,00
Argento non lucido deposto chimicamente.	5,36	— puro brunito . .	2,50
Rame in lamine	4,90	— deposto chimicamente e brunito.	2,25

D'onde rilevasi che il potere emissivo dato da Leslie pei metalli è eccessivamente grande.

386. **Identità dei poteri assorbenti e degli emissivi.** — Non si potrebbero dedurre i poteri assorbenti dai riflettenti, perchè si è veduto (384) che non sono rigorosamente complementari gli uni degli altri. Ma i poteri assorbenti sarebbero determinati se si dimostrasse ch'essi sono, pei vari corpi, eguali ai loro poteri emissivi. Questa appunto è la conseguenza che Dulong e Petit dedussero dal seguente esperimento. In un grande pallone di vetro, il quale era mantenuto a 0° nel ghiaccio, e le cui pareti erano annerite all'interno, fissarono questi fisici un termometro scaldato da principio ad una certa temperatura, per es. a 15°; indi, fatto il vuoto nel pallone, mediante una tubulatura che lo poneva in comunicazione con una macchina pneumatica, lasciarono che il termometro si raffreddasse gradatamente, e contarono il tempo che impiegava a scendere da 10° a 5°. Ricominciando poi l'esperimento in senso contrario, cioè conservando le pareti del pallone a 15° e raffreddando il termometro a 0°, osservarono il tempo che il termometro impiegava a salire da 5° a 10°, e riconobbero che questo tempo era precisamente uguale a quello che aveva impiegato a discendere da 10° a 5°. D'onde conclusero che per un medesimo corpo, e per una stessa differenza tra la sua temperatura e quella dell'ambiente, il potere emissivo è uguale al potere assorbente, poichè le quantità di calorico emesso ed assorbito in tempi eguali sono eguali.

387. **Cause che modificano i poteri riflettente, assorbente ed emissivo.** — Essendo eguali tra loro i poteri emissivo ed assorbente, ogni causa che modifica uno di essi, modifica necessariamente in analoga maniera anche l'altro. E siccome il potere riflettente è, per così dire, inverso degli altri due, così diminuisce per ogni causa che aumenti questi ultimi e viceversa.

Si è già veduto che questi differenti poteri variano da una sostanza all'altra; che i metalli hanno il massimo potere riflettente, ed il nero di fumo il minimo. Ma per uno stesso corpo, questi poteri sono anche modificati dal grado di levigatezza, dalla densità, dalla grossezza della sostanza irradiante, dall'obbliquità dei raggi incidenti e finalmente dalla natura della sorgente.

Si ammise per molto tempo che il potere riflettente crescesse in generale col grado della levigatezza della superficie, e che gli altri poteri all'incontro decrescessero. Ma Melloni ha constatato che rigando una superficie metallica levigata, il suo potere riflettente ne veniva ora aumentato ora diminuito, il qual fenomeno viene attribuito da questo fisico alla diversa densità che assume la piastra metallica riflettente. Se questa piastra è stata primitivamente incrudita (71), l'omogeneità venne distrutta dall'incrudimento; le molecole sono più ravvicinate presso alla superficie che nell'interno della massa, ed il potere riflettente ne è aumentato. Ma rigando la superficie, si discopre la massa interna che è meno densa, ed il potere riflettente decresce. Al contrario, in una piastra non incrudita ed omogenea in tutta la sua massa, il potere riflettente è aumentato quando siasi scalfitta la sua superficie con uno strumento acuminato, il che proviene da un aumento di densità alla superficie prodotto dal tracciarvi le righe.

Anche la grossezza delle sostanze irradianti può modificare il loro potere emissivo, come lo provano le esperienze di Leslie, di Rumford

e di Melloni. Quest'ultimo fisico verificò che coprendo di vernice le facce di un cubo metallico pieno d'acqua ad una temperatura costante, il potere emissivo aumentava col crescere del numero degli strati di vernice fino a 16, che al di là di questo limite rimaneva costante, qualunque fosse il numero degli strati. Egli ha calcolato che la grossezza dei 16 strati era di $\frac{4}{100}$ di millimetro. Avendo poi successivamente applicato sulle facce di un cubo di vetro delle foglie d'oro di 8, 4 e 2 millesimi di millimetro, trovò che la diminuzione di calorico raggiante era sempre la stessa. Da ciò sembra emergere che pei metalli, la grossezza dello strato irradiante, fino al minor limite cui si possa ridurla, è senza influenza.

Melloni constatò inoltre che il potere assorbente varia, colla natura della sorgente di calorico. Per es., per una stessa quantità di calorico incidente, il carbonato di piombo, esposto ai raggi emessi da un cubo pieno d'acqua a 100° ne assorbe presso a poco il doppio di quelli che assorbirebbe se fossero emessi da una lampada. Il solo nero-fumo assorbe sempre la stessa quantità di calorico, qualunque ne sia la sorgente.

Il potere assorbente varia coll' inclinazione dei raggi incidenti. Raggiunge il suo massimo quando l'incidenza è normale, e diminuisce a misura che i raggi incidenti si allontanano dalla normale. Questa è una delle ragioni per cui il suolo si scalda più in estate che in inverno, perchè in estate i raggi solari sono meno obbliqui.

I corpi ridotti in polvere sembrano, in generale, aver tutti lo stesso potere emissivo; almeno così verificarono Masson e Courtépée per sedici corpi sopra venti che sottoposero all'esperienza.

Il potere irradiante dei corpi gasosi in combustione è assai debole come si verifica avvicinando la sfera di un termoscopio ad una fiamma di idrogeno, quantunque la temperatura di questa fiamma sia elevatissima. Ma se si colloca nella fiamma una spira di platino, questa spira, prendendo la temperatura della fiamma, irradia fortemente, come lo indica il termometro. Per un effetto simile le fiamme delle lampade e del gas illuminante irradiano assai più della fiamma di idrogeno, a motivo dell'eccesso di carbonio che esse contengono e che, non essendo abbruciato in totalità, diviene incandescente nella fiamma.

388. **Applicazioni.** — Le proprietà dei diversi poteri riflettente, assorbente ed emissivo hanno numerose applicazioni nell'economia domestica e nelle arti. Leslie aveva annunciato in modo generale che i corpi bianchi riflettono benissimo il calore e l'assorbono poco, e che il contrario ha luogo pei corpi neri. Ora, questo principio non è così generale come l'aveva ammesso Leslie. Difatti la cerussa, quantunque bianca, ha un potere assorbente grande come quello del nero di fumo (384); ma per le stoffe di tela, di cotone, di lana e di un gran numero di altre sostanze, il principio di Leslie è applicabile. Ciò posto se trattasi, per es., di scegliere le vesti più convenienti per l'inverno o per l'estate, è facile il vedere che in ambedue le stagioni bisogna dare la preferenza alle vesti bianche. Infatti il loro potere emissivo è minore di quello delle vesti nere; per conseguenza, nell'inverno impediscono la dispersione del calorico dal nostro corpo; in estate poi, essendo dotate di minor potere assorbente, assorbono dall'atmosfera minor quantità di calorico che le vesti nere, per cui ci sembrano più fresche. Per questo motivo senza dubbio la natura ha dato, agli animali che abitano le regioni polari, un pelo bianco, principalmente durante l'inverno.

I vasi nei quali si pongono a scaldare i liquidi, come le caffettiere, servono meglio quando la loro superficie è nera e scabra, perchè in tal caso il loro potere assorbente è maggiore. La lucentezza che si usa dare a questi vasi è tutta a dispendio di combustibile. Se si tratta all'incontro di conservare caldo un liquido pel maggior tempo possibile, bisogna collocarlo in un vaso di metallo terso e lucente, perchè il potere emissivo essendo allora minore, il raffreddamento è più lento.

Sulle Alpi i montanari accelerano la fusione delle nevi coprendole di terra onde aumentare il loro potere assorbente.

L'intonaco delle stufe e di altri simili caloriferi che usiamo nelle nostre abitazioni, deve essere nero onde facilitare la emissione del calorico; al contrario l'interno dei nostri camini dovrebbe essere rivestito di lastre di porcellana o di maiolica bianche e lucenti onde aumentare il potere riflettente del camino verso l'appartamento.

TRASMISSIONE DEL CALORICO RAGGIANTE ATTRAVERSO I CORPI

389. **Diatermaneità.** — Vi sono dei corpi che si lasciano attraversare dal calorico raggiante, allo stesso modo che i corpi diafani lasciano passare la luce; altri sono privi di questa proprietà o non la posseggono che in grado debolissimo. Melloni ha dato ai primi il nome di corpi *diatermani*, ed ai secondi quello di corpi *atermani*. I gas sono i corpi i più diatermani; i metalli sono del tutto atermani. A malgrado dell'analogia che sussiste fra il calorico raggiante e la luce, notiamo fin d'ora che i corpi trasparenti non sono sempre i più diatermani, e che i corpi opachi non sono sempre atermani.

Prévost a Ginevra, e Delaroche in Francia, negli anni 1811 e 1812, scoprirono parecchi fenomeni che presentano i corpi diatermani; ma solo nel 1832, Melloni, per mezzo del suo termo-moltiplicatore, che descriveremo in seguito, diede una teoria compiuta delle proprietà diatermani dei solidi e dei liquidi.

Questo fisico, nelle sue esperienze, ha fatto uso di cinque sorgenti di calore, cioè: 1.° di una lampada di Locatelli, ossia senza tubo di vetro, con specchio concavo ed a semplice corrente d'aria; 2.° di una lampada d'Argand, ossia a doppia corrente d'aria e munita di tubo di vetro, come le lampade Carcel; 3.° di un filo di platino ravvolto a spira e mantenuto incandescente entro la fiamma di una lampada ad alcool; 4.° di un piccolo cubo di rame annerito all'esterno e pieno d'acqua mantenuta a 100°; 5.° finalmente, di una piastra di rame annerita e scaldata a circa 400° dalla fiamma di una lampada ad alcool.

Cangiando successivamente le lamine diatermani e le sorgenti di calore, Melloni constatò i fatti che ora esporremo.

390. **Cause che modificano la diatermaneità.** — Le cause che modificano la diatermaneità sono sei, cioè:

1.ª La natura della sostanza di cui sono formate le lamine che il calorico attraversa;

2.ª Il grado di levigatezza di queste lamine;

3.ª La loro grossezza;

4.ª Il numero delle lamine che il calorico attraversa;

5.ª La natura delle lamine già attraversate;
6.ª La natura della sorgente di calore.

391. **Influenza della sostanza delle lamine.** — Esperimentando sopra diversi liquidi posti successivamente in un truogolo di vetro, le cui facce opposte erano parallele e distanti l'una dall'altra di $9^{mil},2$, e paragonando le indicazioni date dall'apparato quando v'erano interposti dei liquidi, all'effetto osservato allorchè il calorico giungeva direttamente, Melloni trovò che, prendendo per sorgente di calorico una lampada di Argand, su 100 raggi incidenti,

Il solfuro di carbonio ne lascia passare	63
L'olio d'ulivo	30
L'etere	21
L'acido solforico	17
L'alcool	15
L'acqua che tiene disciolto dello zuccaro o dell'allume	12
L'acqua distillata	11

Sperimentando del pari sopra diverse sostanze solide ridotte in lamine della grossezza costante di $2^{mil},6$, Melloni ottenne la seguente tabella:

Di 100 raggi	il salgemma ne lascia passare. . . .	92
»	lo spato d'Islanda ed il cristallo. . .	62
»	il cristallo di rocca affumicato. . . .	57
»	il carbonato di piombo diafano . . .	52
»	il solfato di calce diafano	20
»	l'allume diafano	12
»	il solfato di rame	0

Dai risultati esposti in queste due tabelle si deduce che certe sostanze le quali difficilmente si lasciano attraversare dalla luce, come il cristallo di rocca affumicato, possono lasciarsi attraversare assai facilmente dal calorico; mentrechè altre sostanze pochissimo permeabili al calorico, per es. il solfato di calce e più di tutte l'allume, ponno essere assai diafane. Queste diverse esperienze conducono adunque ad ammettere che non avvi alcun rapporto fra la diatermaneità e la trasparenza dei corpi.

392. **Influenza della levigatezza.** — La diatermaneità di una lamina cresce colla sua levigatezza. Per es., Melloni trovò che le indicazioni del suo apparato variavano da 12 a 5 gradi, quando s'interponevano delle lamine di vetro della stessa qualità e della stessa grossezza, ma più o meno levigate.

393. **Influenza della grossezza.** — La quantità di calorico che attraversa una lamina diatermana decresce al crescere della grossezza; ma l'assorbimento non è a quest'ultima proporzionale. L'assorbimento, in generale, avviene nei primi strati. Al di là di un certo limite, la quantità di calorico trasmessa tende a rimaner costante, anche quando la grossezza cresce.

Melloni constatò questo fatto esperimentando sopra lamine di vetro bianco le cui grossezze erano 1, 2, 3, 4, e trovò che di 1000 raggi, queste lamine ne lasciavano passare rispettivamente 619, 576, 558, 549, numeri le cui differenze tendono a divenir nulle.

394. **Influenza del numero delle lamine.** — L'accrescimento del numero delle lamine attraversate dal calorico produce un effetto analogo all'aumento di grossezza, cioè l'assorbimento cresce meno rapidamente del numero delle lamine, od in altri termini, la quantità di calorico assorbita decresce da una lamina alla successiva.

Inoltre, parecchie lamine della stessa specie sovrapposte, intercettano maggior quantità di calorico che una lamina sola di una grossezza eguale alla somma delle loro grossezze. Finalmente, l'effetto prodotto da lamine sovrapposte, di differenti sostanze, è indipendente dall'ordine nel quale esse si succedono.

395. **Influenza della natura delle lamine già attraversate.** — I raggi calorifici che hanno già attraversato una o più sostanze diatermane, subiscono una modificazione la quale li rende più o meno atti ad attraversare altre sostanze diatermane. Paragonando, per es., i risultati ottenuti con una lampada d'Argand, la di cui fiamma è circondata da un tubo di vetro, con quelli di una lampada di Locatelli che non ha tubo di vetro, Melloni trovò che rappresentando con 100 i raggi incidenti, relativamente alla quantità di calorico trasmessa dalle due lampade, si hanno i seguenti risultati:

SOSTANZE	LAMPADA D'ARGAND	LAMPADA DI LOCATELLI
Il salgemma lascia passare	92	92
Lo spato d'Islanda ed il cristallo	62	39
Il cristallo di rocca affumicato	57	37
Il solfato di calce	20	14
L'allume	12	9

Da ciò si conchiude che il calorico, il quale nella lampada d'Argand ha già attraversato il vetro, si trasmette più facilmente attraverso alle altre sostanze. Soltanto il salgemma lascia sempre passare la stessa quantità di calorico incidente.

396. **Influenza della natura della sorgente.** — In generale, la natura della sorgente di calorico modifica d'assai la diatermaneità dei corpi, come lo dimostrano i risultati ottenuti da Melloni facendo uso di quattro differenti sorgenti. Infatti, rappresentando ancora con 100 i raggi incidenti, questo scienziato ottenne i risultati esposti nella seguente tabella:

SOSTANZE	LAMPADA di LOCATELLI	PLATINO incandescente.	RAME scaldato a 400°	RAME scaldato a 100°
Il salgemma lascia passare .	92	92	92	92
Lo spato d'Islanda	30	28	6	0
Il cristallo	39	24	6	0
Il solfato di calce.	14	5	0	0
L'allume	9	2	0	0

Questa tabella mostra che, ad eccezione del salgemma, la proporzione del calorico trasmessa attraverso ai solidi diminuisce colla tem-

peratura della sorgente, e divien nulla quando la sorgente ha la temperatura di 100 gradi. I liquidi offrono lo stesso fenomeno.

397. **Differenti specie di raggi calorifici.** — Le proprietà che presenta il calorico nel suo passaggio attraverso ai corpi, hanno condotto Melloni a proporre sul calorico una ipotesi analoga a quella che già da tempo fu adottata sulla luce. Siccome Newton ammise parecchie specie di raggi luminosi, il *rosso*, l'*aranciato*, il *giallo*, il *verde*, il *turchino*, l'*indaco* ed il *violetto*, i quali sono disugualmente trasmissibili attraverso ai corpi diafani, e che ponno trovarsi combinati fra loro od isolati; del pari Melloni ammette l'esistenza di parecchie specie di raggi calorifici, le quali sarebbero emesse simultaneamente, in proporzioni variabili, dalle varie sorgenti di calore, e sarebbero dotati della proprietà di attraversare più o meno facilmente le sostanze diatermane. Queste sostanze possederebbero adunque una vera *colorazione* calorifica, cioè assorbirebbero certi raggi e ne lascerebbero passare certi altri, alla stessa guisa che un vetro turchino, per es., è attraversato dai raggi turchini e non da quelli di altro colore.

La teoria di Melloni si spiega assai bene nel sistema delle ondulazioni, ammettendo che le proprietà delle differenti specie di calorico siano dovute a differenti numeri di vibrazioni, ossia ad onde calorifiche di lunghezze disuguali.

398. **Applicazioni della diatermaneità.** — Sebbene non siasi fatta alcuna esperienza sulla diatermaneità dei gas, non si può mettere in dubbio che l'aria sia assai diatermana, poichè in questo fluido si producono tutti i fenomeni di calorico raggiante. A cagione della loro grande diatermaneità, gli strati superiori dell'atmosfera hanno sempre una bassa temperatura, benchè siano attraversati dai raggi solari. Il fenomeno contrario accade nel seno dei laghi e dei mari, perchè l'acqua è poco diatermana; i soli strati superiori risentono delle variazioni di temperatura al variare delle stagioni, mentre ad una certa profondità la temperatura rimane costante.

Le proprietà dei corpi diatermani furono applicate utilmente a separare la luce ed il calorico irradianti simultaneamente da una stessa sorgente. Il salgemma ricoperto di nero-fumo arresta completamente la luce e lascia passare il calorico. Al contrario le lamine o le soluzioni di allume arrestano il calorico e lasciano passare la luce. Quest'ultimo processo si applica con vantaggio agli apparecchi che si rischiarano coi raggi solari o colla luce elettrica, quando importi di evitare un calore troppo intenso.

Nei giardini, l'uso delle campane con cui si coprono parecchie piante è fondato sulla diatermaneità del vetro, indicata in una delle tavole precedenti (396); questa sostanza è attraversata dai raggi solari che hanno una temperatura elevata, e non dai raggi calorifici emessi dal suolo.

399. **Diffusione.** — Abbiamo già detto (384) che il calorico incidente sulla superficie di un corpo non si riflette tutto secondo le leggi della riflessione esposte precedentemente (378). Una parte viene riflessa irregolarmente, cioè in tutte le direzioni intorno al punto d'incidenza. Questo fenomeno si denomina *diffusione* o *riflessione irregolare* del calorico, e si chiama *riflessione regolare* o *riflessione speculare* quella che avviene secondo le leggi sopraccitate. Il fenomeno della diffusione prodotta dalla superficie dei corpi fu scoperta da Melloni.

La riflessione regolare non si effettua che sopra superficie levigate; la irregolare, al contrario, si produce sulle superficie smorte e rugose, come le piastre di legno, di vetro, di metallo non levigate e smorte.

Il potere diffusivo varia secondo la natura della sorgente e quella delle sostanze riflettenti. I corpi bianchi diffondono assai il calorico che irradia da una sorgente incandescente. I metalli smorti sono ancora più diffusivi dei corpi bianchi.

CAPITOLO X.

MACCHINE A VAPORE

400. **Oggetto delle macchine a vapore.** — Le *macchine a vapore* sono apparati che servono ad impiegare la forza elastica del vapore acqueo come forza motrice.

Nelle macchine generalmente usate, il vapore, in causa della sua forza elastica, imprime ad uno stantuffo un moto rettilineo alternativo, il quale viene in seguito trasformato in moto circolare continuo, per mezzo di diversi organi meccanici.

Siccome ogni macchina a vapore si compone di due parti ben distinte, cioè dell'apparato in cui si produce il vapore e della macchina propriamente detta, così noi incominceremo dal descrivere il primo di questi apparati.

401. **Generatore del vapore.** — Chiamasi *generatore* o *caldaia* l'apparato che serve alla produzione del vapore. La fig. 270 rappresenta una veduta longitudinale, e la fig. 271 una sezione trasversale di un generatore di macchina fissa. Quelli delle locomotive e dei battelli a vapore differiscono assai. Questo generatore consiste in un lungo cilindro di lamiera di ferro P M, chiuso alle sue estremità da due calotte sferiche. Al disotto trovansi due cilindri B, B, di minor diametro, egualmente in lamiera di ferro e comunicanti col generatore ciascuno per due tubulature. Codesti cilindri si chiamano *bollitoi*. Destinati a ricevere il *colpo di fuoco* dal focolare, essi sono completamente ripieni di acqua, mentre il cilindro maggiore lo è soltanto a poco più della metà. Al disotto dei bollitoi trovasi il focolare, in cui si brucia del carbon fossile o della legna. Onde estendere la superficie di riscaldamento e utilizzare tutto il calorico perduto nei prodotti della combustione, si fanno circolare questi ultimi in condotti di mattoni che circondano le pareti dei bollitoi e del generatore. Questi condotti, dividono il fornello in due compartimenti orizzontali F, F e D, C, D (fig. 271). Inoltre il compartimento superiore è diviso in tre altri condotti distinti D, C, D, per mezzo di due chiusure verticali, le quali non sono rappresentate nel disegno e corrispondono ai due lati dei bollitoi. La fiamma e i prodotti della combustione radendo dapprima la parte inferiore dei bollitoi dal davanti al didietro, ritornano in senso contrario per il condotto centrale C; poi, dividendosi, si recano pei condotti laterali D, D, nel tubo K del camino, dal quale si svolgono nell'atmosfera.

Leggenda esplicativa delle figure 270 *e* 271.

B, B *Bollitoi* in numero di due. Essi sono sempre pieni di acqua e posti nel centro del focolare, sì che ricevono direttamente il colpo di fuoco.

Fig. 270.

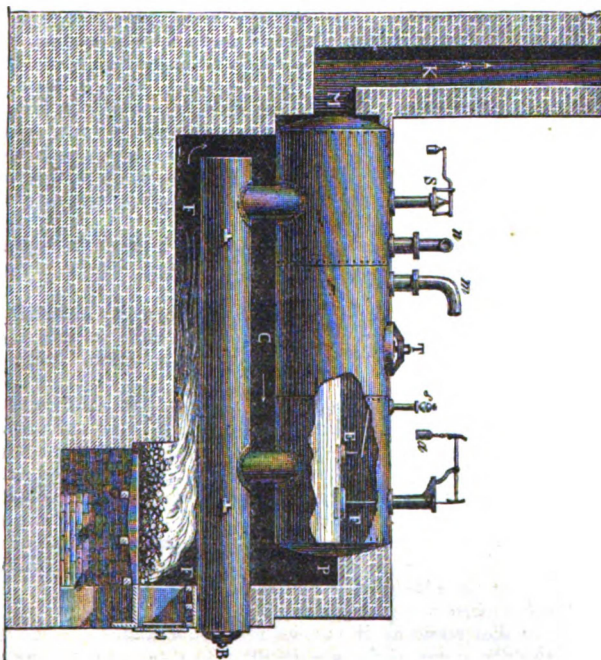
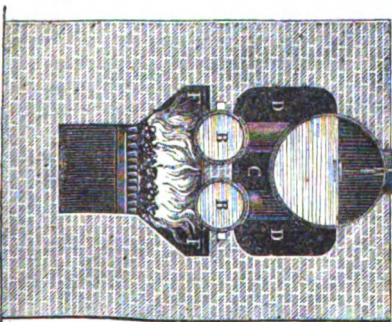



Fig. 271.

C, D, D *Condotti* che circondano i bollitoi e le pareti inferiori del generatore. Essi servono ad utilizzare il calore trascinato dai prodotti della combustione.

E *Galleggiante* del fischietto d'allarme *s*.

F, F *Focolare*.

F' *Galleggiante* destinato ad indicare il livello dell'acqua nella caldaia. Si compone di una pietra rettangolare sommersa in parte nell'acqua, come mostra la rottura praticata nella parete del generatore. Codesta pietra che è sospesa alla estremità di una leva, è mantenuta in equilibrio dalla perdita di peso che essa prova nell'acqua e da un contrappeso *a*. Finchè l'acqua si trova all'altezza voluta, la leva che sostiene il galleggiante resta orizzontale; ma essa inclina verso F quando non v'ha abbastanza acqua, e in senso contrario, se ve n'ha di troppo. In ambedue questi casi il macchinista è prevenuto di regolare convenientemente l'introduzione dell'acqua di alimentazione.

K *Gola* del camino per cui si svolgono i prodotti della combustione. Gli è per attivare la chiamata d'aria attraverso al focolare che si dà a questo tubo una grande altezza.

M, P *Generatore* cilindrico di lamiera di ferro, unito ai bollitoi, mercè quattro tubulature e riempito di acqua poco più della metà.

S *Valvole di sicurezza*, già descritte parlando dalla pentola di Papin (327).

T *Apertura* (*trou d'homme*), che si apre per ripulire e riparare il generatore. Quest'apertura è chiusa con chiusura ad *autoclave*, cioè chiudentesi da sè stessa. Perciò, questa chiusura consiste in un coperchio applicato interiormente contro i lembi della parete. Là una vite di pressione non solamente la mantiene, ma la comprime dal basso all'alto contro queste pareti medesime. D'altronde, quanto maggiore è la tensione del vapore, tanto più compresso riesce il coperchio contro la parete e meglio ermetica la chiusura.

a, *Contrappeso* del galleggiante.

m, *Tubo* che conduce il vapore alla macchina.

n, *Tubo* che conduce le acque di alimentazione nel generatore.

s, *Fischietto d'allarme*, così chiamato perchè serve ad avvisare che non v'ha più sufficiente quantità di acqua nella caldaia, circostanza che può produrre uno scoppio al momento che vi rientra l'acqua, giacchè allora le pareti essendo roventi si produce un eccesso di vapore al momento in cui rientra l'acqua. Finchè il livello non è troppo basso nella caldaia, il vapore non può passare nel fischietto; ma se il livello si abbassa di troppo al disotto dell'altezza conveniente, un piccolo galleggiante E che chiude il piede del fischietto, discende e dà passaggio al vapore. Il quale, sfuggendo, viene a rasentare gli orli di un disco metallico sottile, e mettendolo in vibrazione, gli fa rendere un acuto suono che serve d'avviso al macchinista.

402. **Macchina a vapore a doppio effetto.** — Si dà il nome di *macchine a doppio effetto* a quelle nelle quali il vapore agisce alternativa-

mente disopra ed al disotto allo stantuffo per imprimere ad esso un movimento alternativo rettilineo, che si trasforma in seguito in movimento circolare continuo.

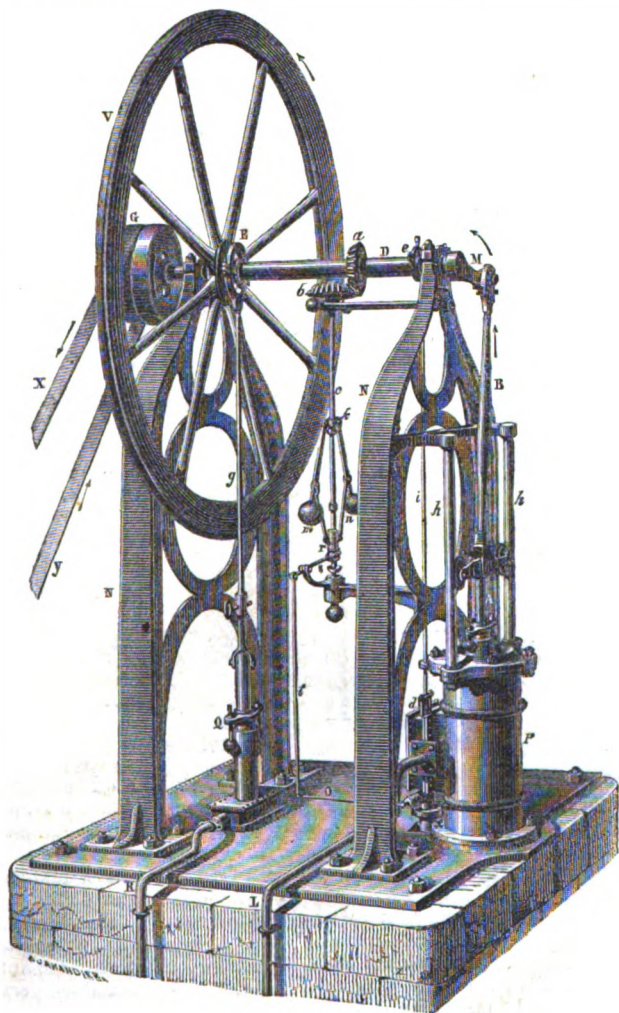



Fig. 272 (a. = 2m).

La figura 272 fa vedere l'insieme di una macchina a vapore a doppio effetto, e le figure 273 e 274 rappresentano una sezione verticale del

cilindro e della distribuzione del vapore. Questa macchina è tutta in ferraccio e sostenuta da un'armatura NN dello stesso metallo.

A diritta del disegno trovasi un cilindro *p* nel quale il vapore giunge dal generatore per un tubo *x*. Gli è in questo cilindro, del quale la figura 274 mostra la sezione che trovasi lo stantuffo T sul quale il vapore agisce alternativamente dall'alto al basso e dal basso all'alto. L'asta A dello stantuffo, partecipando a questo doppio movimento, lo trasmette ad un lungo pezzo B che si chiama *biella,* e che si articola

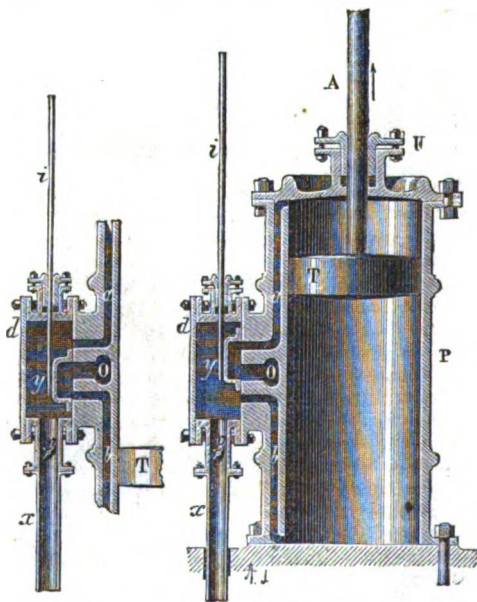



Fig. 273. Fig. 274.

dall'un capo alla estremità dell'asta A, e coll'altro ad un pezzo più piccolo M, che è la *manovella*. Dal movimento ascendente e discendente della biella, la manovella riceve un moto circolare continuo che essa trasmette all'*albero da letto* D, al quale è invariabilmente fissa. All'altra estremità quest'albero porta una puleggia G, su cui passa una *correggia senza fine* XY. Gli è questa correggia, che trascinata dalla puleggia trasmette da lungi il moto a certe macchine-operaie, come torni, laminatoi, seghe, macchine tipografiche, ecc. A lato della puleggia G ve n' ha una seconda che non sta fissa all'albero, chiamata appunto *puleggia folle.* Essa serve ad arrestare il moto delle macchine-operaie che mette in moto la macchina a vapore senza arrestar questa. Perciò col mezzo di una forchetta di ferro che non è rappresentata nel disegno, e che abbraccia la correggia, si fa passare questa dalla puleggia G sulla puleggia folle. La correggia non trasmettendo più alcuna forza motrice, le macchine che essa metteva in moto tosto si arrestano.

Sull'albero da letto trovasi un'altra grande ruota di ghisa V, che si chiama *volante*. Questa ruota, che ha una grandissima massa, è necessaria a mantenere il movimento della macchina. Infatti, ogni qualvolta lo stantuffo giunge in alto o in basso della sua corsa, esso prova un soffermamento cortissimo, durante il quale il moto di tutta la macchina tende ad essere sospeso. Ma allora il volante per effetto di inerzia e in virtù della velocità acquistata, trascina l'albero con sè e mantiene così il movimento regolare.

403. **Regolatore a forza centrifuga.** — Il movimento delle macchine a vapore tende incessantemente ad accelerarsi o a ritardarsi, sia perchè la tensione del vapore varia nel generatore, sia perchè il numero delle macchine-operaie alle quali il movimento è trasmesso è più o meno considerevole. Ragione per cui Watt ha aggiunto alle sue macchine un *regolatore a forza centrifuga*. Si chiama così un apparecchio nel quale la forza centrifuga è utilizzata per regolare il vapore che giunge nella macchina, in modo che aumenti quando la velocità diminuisca, e diminuisca quando la velocità si aumenta.

Il regolatore a forza centrifuga consiste in un parallelogrammo articolato *kmnr* (fig. 272), fissato su un'asta verticale *c*, alla quale l'albero trasmette il suo movimento di rotazione mediante due ruote di angolo *a* e *b*. I rami laterali del parallelogrammo sono caricati da due grosse sfere di ghisa *m* e *n*, le quali, per effetto del loro peso, tendono incessantamente a fermarle. Al contrario la forza centrifuga che risulta dalla rotazione delle sfere coll'asta *c* tende costantemente a farle divergere e ad aprire il parallelogrammo. Da ciò, a seconda che è maggiore o minore la velocità della macchina, un movimento dall'alto al basso o dal basso all'alto che si comunica ad un anello *r*, scivolante lungo l'asta *c*. È questo anello, il quale, per una serie di leve *s*, *t*, O, fa, aprire o chiudere una valvola *v* (fig. 273) posta nel tubo *x* per mezzo del quale giunge il vapore. Si ha cura che questa valvola sia disposta in modo che essa si chiuda tanto più, quanto più divergono le sfere del regolatore.

404. **Tromba di alimentazione.** — È necessario di alimentare il generatore d'acqua a misura che quella che esso contiene si evaporizza. Ora è la stessa macchina a vapore che compie questo lavoro. Per ciò, si aggiunge una tromba Q, aspirante e premente, la cui asta *g* riceve il suo movimento di va e vieni da un eccentrico E posto sull'albero (fig. 272). Questa tromba, che si indica sotto il nome di *tromba di alimentazione*, aspira l'acqua da un pozzo e la respinge per un tubo di rame R nel generatore.

405. **Distribuzione del vapore.** — Per completare la descrizione della macchina a vapore, bisogna far conoscere la *distribuzione del vapore*, cioè il meccanismo che serve a far passare il vapore alternativamente sopra e sotto allo stantuffo. Le figure 273 e 274 danno una sezione di questo meccanismo. Il vapore giungendo dal generatore per il tubo *x* si reca in una scatola di ghisa *d*, che è la *cassetta di distribuzione*. Da questa, nella stessa entità delle pareti del cilindro, partono due condotti *a* e *b*, i quali dirigono il vapore, l'uno disopra, l'altro disotto allo stantuffo. Un pezzo mobile *y*, che si chiama il *cassetto*, chiude sempre uno di questi condotti. Nella figura 274, è il condotto superiore *a* che si trova chiuso, e il vapore giungendo al disotto del cilindro fa ascendere lo stantuffo.

Il cassetto è fissato ad un'asta *i*, che riceve da un eccentrico *e* (fig. 272) un moto alternativo dal basso all'alto e dall'alto al basso, in virtù del quale il cassetto prende successivamente le posizioni rappresentate nelle figure 273 e 274.

Finchè il vapore giunge al disotto dello stantuffo (fig. 274), la parte superiore del cilindro è in comunicazione, per il condotto *a*, con una cavità O da cui parte un tubo L (fig. 272). È per questo tubo che si svolge il vapore che ha agito sullo stantuffo. Poi, quando il vapore giunge al disopra dello stantuffo (fig. 273), è la parte inferiore del cilindro che comunica, per il condotto *b*, colla stessa cavità O e col tubo L. Da cui si scorge che i condotti *a* e *b* servono alternativamente a condurre e a far uscire il vapore.

Nelle macchine ad alta pressione (408), il vapore che si svolge dal tubo L va a perdersi nell'atmosfera; ma nelle macchine a bassa od a media pressione, il vapore si reca in un vaso chiuso, chiamato *condensatore*. Questo vaso è pieno d'acqua fredda, a contatto della quale il vapore si condensa; ciò che fa guadagnare un'atmosfera, giacchè il vuoto tende sempre a prodursi sulla faccia dello stantuffo opposta a quella che riceve l'azione dal vapore. Tuttavia, quantunque una tromba speciale rinnovi costantemente l'acqua del condensatore, il calorico che gli cede il vapore per il fatto della condensazione, la mantiene sempre a circa 40 gradi. Ma si sa che a questa temperatura, la tensione del vapore che rimane nel condensatore è molto inferiore a quella del vapore che giunge dal generatore (316).

La macchina rappresentata nella figura 272 è una *macchina ad alta pressione, senza condensatore*. Di più, è una *macchina a biella articolata*, sistema dovuto all'ingegnere inglese Maudslay. La macchina di Watt, identica sotto tutti gli altri rapporti, era a *bilanciere;* cioè che il movimento dell'asta dello stantuffo si trasmetteva all'estremità di un enorme bilanciere di ghisa, mobile nel suo mezzo su due traverse, ed era in seguito questo bilanciere che, all'altra sua estremità, comunicava il moto alla biella, alla manovella e all'albero da letto.

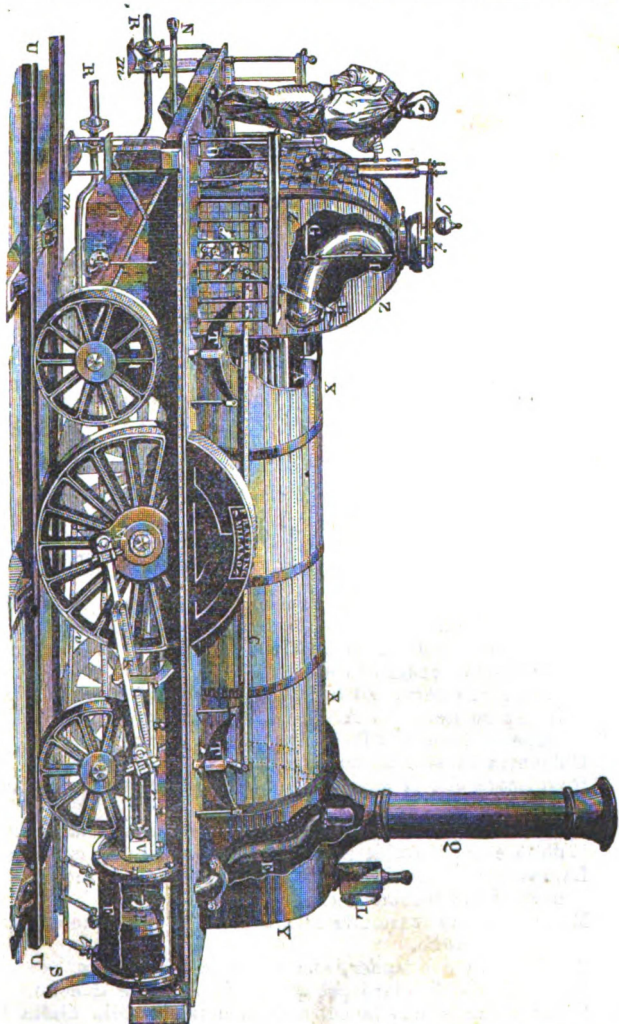
406. **Locomotive**. — Si chiamano *macchine locomotive*, o semplicemente *locomotive*, alcune macchine a vapore che, disposte sopra carri, si spostano da sè stesse trasmettendo il moto alle ruote.

Nelle locomotive, il bilanciere ed il volante delle macchine fisse sono soppressi; anche la forma del generatore è completamente modificata. Le parti principali di queste macchine sono il *telaio*, la *cassa di riscaldamento*, il *corpo cilindrico della caldaia*, la *cassa fumaria*, i *cilindri a vapore* coi loro cassetti, le *ruote motrici* e l'*apparato di alimentazione*.

Il telaio è una cornice di legno di quercia sostenuta dalle sale delle ruote, e che porta tutte le parti della macchina. Nel nostro disegno (fig. 275), sulla piattaforma di lamiera di ferro che ricopre il telaio, è rappresentato il meccanico che deve dirigere la locomotiva nell'istante in cui si dispone ad aprire il *regolatore del vapore* I, situato nella parte superiore della cassa di riscaldamento Z. Alla parte inferiore di quest'ultima evvi il focolare, d'onde la fiamma ed i prodotti della combustione passano nella cassa fumaria Y, indi nella canna del camino, dopo aver attraversato 125 tubi di rame che sono interamente immersi nell'acqua della caldaia.

La caldaia che unisce la cassa a fuoco colla cassa fumaria è di rame, di forma cilindrica e del diametro di un metro circa; essa è circondata

da doghe di acaiù, le quali in causa della loro debole conducibilità si oppongono al raffreddamento. Uscendo dalla caldaia il vapore si porta nei due cilindri collocati a ciascun lato della cassa fumaria. Ivi, per

Fig. 275 (l. = 5^m,68).

mezzo di una distribuzione analoga a quella più sopra descritta (405), agisce alternativamente sulle due facce degli stantuffi, le cui aste trasmettono il movimento alle sale delle grandi ruote. La camera di distri-

buzione non è visibile nella figura perchè è collocata sotto al telaio fra i due cilindri. Dopo di avere agito sugli stantuffi, il vapore sfugge pel camino, e contribuisce a rendere maggiore l'aspirazione.

La trasmissione del moto dagli stantuffi alle due grandi ruote si compie da due bielle, che per mezzo di due manovelle collegano le aste degli stantuffi colle sale di queste ruote. I cassetti ricevono il moto alternativo nelle casse di distribuzione di ciascun cilindro, per mezzo di eccentrici situati sulle sale delle ruote motrici.

L'alimentazione, ossia la rinnovazione dell'acqua nella caldaia, si ottiene per mezzo di due trombe aspiranti e prementi situate sotto il telaio e messe in moto da eccentrici. Queste trombe, mediante tubi di comunicazione, aspirano l'acqua da un serbatoio collocato sul *tender*. Chiamasi così quel carro che succede immediatamente alla locomotiva e che porta l'acqua ed il carbone occorrenti per un viaggio determinato.

La leggenda esplicativa che accompagna la figura ci dispensa dall'entrare in più estesi schiarimenti.

Locomotiva a cupola.

(Leggenda esplicativa.)

A — Tubo di rame che riceve il vapore dall'estremità I e si biforca all'altra estremità per condurlo ai due cilindri che contengono gli stantuffi motori.

B — Impugnatura della leva di cambiamento di direzione. Questa leva trasmette il moto alla spranga C, che lo comunica alla distribuzione del vapore.

C — Spranga del cambiamento di direzione.

D — Parte inferiore della cassa di riscaldamento contenente la graticola del focolare.

E — Tubo pel quale sfugge il vapore dopo che ha agito sugli stantuffi.

F — Cilindro di ghisa contenente uno stantuffo motore. Ve n'è uno a ciascun lato della locomotiva. Il cilindro fu disegnato aperto per lasciar vedere lo stantuffo.

G — Spranga che serve ad aprire il regolatore I per lasciar passare il vapore nel tubo A. Nella figura il meccanico afferra colla mano la leva che fa girare questa spranga.

H — Chiavetta di scarico della caldaia.

I — Regolatore che si apre e si chiude a mano per la immissione del vapore.

K — Gran biella motrice, a forchetta, che riunisce la testa dell'asta dello stantuffo alla manovella M della ruota motrice.

L — Lampada e specchio che di notte servono ad indicare l'avvicinarsi della locomotiva.

M — Manovella che trasmette alla sala della gran ruota il movimento dello stantuffo.

N — Attaccatura del *tender*, che segue la locomotiva.

O — Sportello del focolare pel quale si introduce il coke.

P — Stantuffo metallico la cui asta si articola colla biella K.

Q — Tubo del camino, pel quale sfuggono il fumo ed il vapore che escono dai cilindri.

R, R — Tubi conducenti l'acqua dal *tender* a due trombe prementi le quali alimentano la caldaia, ma che nella figura non sono visibili.

S Pezzo che scaccia le pietre o qualsiasi altro oggetto che ingombri la via.
T, T Molle sostenenti la caldaia.
U, U Guide di ferro, tenute ferme sulla via per mezzo di cuscinetti di ghisa fissati sopra traverse di legno.
V Intelaiatura della scattola a stoppa dei cilindri.
X, X Corpo cilindrico della caldaia coperto di doghe di acaiù destinate, per la debole loro conducibilità, a diminuire la perdita di calorico. Si vede, al disotto del tubo A, sin dove si eleva il livello dell'acqua nella caldaia. Nell'acqua stanno immersi dei tubi di rame *a*, a traverso dei quali passano i prodotti della combustione per recarsi nella cassa fumaria.
Y Cassa fumaria nella quale sboccano i tubi *a*.
Z, Z Cassa di riscaldamento sormontata da una cupola nella quale passa il vapore.
a Tubi di rame in numero di 125, aperti alle due estremità, i quali comunicano ad un capo colla cassa di riscaldamento ed all'altro colla cassa fumaria. Questi tubi trasmettono il calore dal focolare all'acqua della caldaia e contribuiscono a convertirla in vapore.
b Direttore del moto, collocato lateralmente alla camera del fuoco e munito di intaccature nelle quali possono ingranare le braccia della leva R. L'intaccatura estrema anteriore corrisponde al moto in avanti; l'intaccatura estrema posteriore al moto all'indietro; l'intaccatura di mezzo è un punto-morto. Le intaccature intermedie fra questa e le intaccature estreme danno l'espansione per il moto in avanti e in addietro.
e Astuccio contenente delle molle a spira, le quali regolano l'azione della valvola di sicurezza *i*.
g Fischietto d'allarme che si fa udire alla distanza di 2000 metri.
i Valvola di sicurezza.
m, m Sgabello per salire sulla piattaforma della locomotiva.
n Tubo di cristallo situato davanti al meccanico e che indica il livello dell'acqua nella caldaia colla quale comunica pe' suoi due capi.
r, r Guide destinate a mantenere in linea retta il moto della testa dello stantuffo.
t, t Chiavette per evacuare i cilindri dopo che sono stati scaldati dal vapore al cominciare della corsa.
v Spranga che trasmette il moto alle chiavette di evacuazione.

407. **Macchine a reazione; eolipila.** — Chiamansi *macchine a reazione* alcune macchine nelle quali il vapore agisce per reazione, come fa l'acqua nell'arganetto idraulico (84). L'idea di queste macchine è molto antica; 120 anni prima di Gesù Cristo, Erone di Alessandria, lo stesso che inventò la fontana che porta il di lui nome, descrisse il seguente apparecchio denominato *eolipila a reazione.*

È una sfera cava di metallo (fig. 276) che può girare liberamente intorno a due perni. Alle estremità di uno stesso diametro sono fissate due tubulature che presentano lateralmente ed in direzione contraria degli orifizi dai quali sfugge il vapore. Per introdurre dell'acqua in questa sfera, la si riscalda dapprima allo scopo di rarefare l'aria, indi

la si immerge nell'acqua fredda; l'aria si contrae, ed il liquido vi penetra. Se si riscalda allora l'apparato sino alla ebollizione, il vapore che si sviluppa gli imprime un moto rapido di rotazione, il quale è dovuto alla pressione del vapore sulla parete opposta all'orifizio di uscita.

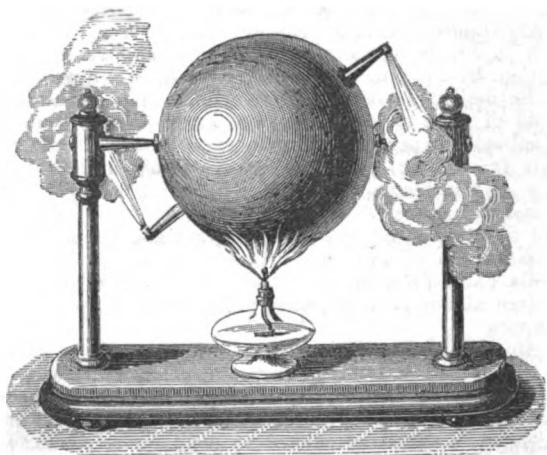



Fig. 276 (a. = 18).

Si fecero diversi tentativi onde utilizzare in grande la reazione del vapore come forza motrice; si tentò anche di farlo agire per impulsione, dirigendo un getto di vapore sulla paletta di una ruota girante; ma, in questi differenti processi, il vapore non produsse giammai l'effetto utile che si ottiene facendolo agire per espansione su di uno stantuffo.

408. **Macchine a bassa, ad alta ed a media pressione.** — Dicesi che una macchina è a *bassa pressione*, quando la tensione del vapore non oltrepassa 1 atmosfera ed $\frac{1}{4}$; a *media pressione*, quando la tensione del vapore è compresa fra 1 atmosfera e 4 atmosfere; e ad *alta pressione*, quando il vapore agisce con una tensione superiore a 4 atmosfere.

409. **Macchine a espansione e senza espansione** — Quando il vapore arriva liberamente sullo stantuffo, durante tutta la corsa del medesimo, conserva sensibilmente la stessa forza elastica, ed allora si dice che il vapore agisce *senza espansione (sans détente)*: ma se, per una particolare disposizione del cassetto, il vapore cessa di giungere sullo stantuffo allorchè questo si trova soltanto a due terzi od a tre quarti della sua corsa, *esso si espande*, vale a dire per la forza espansiva dovuta all'alta sua temperatura, agisce ancora sullo stantuffo, e lo spinge sino al termine della sua corsa. Da ciò la distinzione di *macchine ad espansione* e *macchine senza espansione*.

Finalmente si chiamano *macchine a condensazione* quelle che sono fornite di un condensatore in cui il vapore si liquefa dopo di aver

agito sullo stantuffo; e *macchine senza condensazione* quelle che mancano di condensatore, a queste ultime appartengono le locomotive.

410. **Cavallo-vapore.** — In meccanica applicata, si chiama *lavoro meccanico* di un motore il prodotto dello sforzo che esso esercita per lo spazio percorso dal corpo cui è applicato, e si prende per unità di lavoro meccanico il *chilogrammetro*, che è il lavoro necessario per elevare 1 chilogrammo ad 1 metro di altezza in 1 minuto secondo.

Nella misura del lavoro delle macchine a vapore, si prende per unità il *cavallo-vapore,* il quale rappresenta *il lavoro necessario per elevare* 75 *chilogrammi ad* 1 *metro di altezza in* 1 *minuto secondo;* quindi esso equivale a 75 chilogrammetri. Per conseguenza, una macchina di 40 cavalli è quella che può elevare, senza interruzione, 40 volte 75 chilogrammi, ossia 3000 chilogrammi ad 1 metro di altezza in ogni minuto secondo. Il lavoro di un cavallo-vapore è circa il doppio di quello degli ordinari cavalli da tiro.

CAPITOLO XI.

SORGENTI DI CALORE E DI FREDDO

411. **Differenti sorgenti di calore.** — Le diverse sorgenti di calore sono: 1.° le *sorgenti meccaniche,* le quali comprendono lo sfregamento, la percussione e la compressione; 2.° le *sorgenti fisiche,* cioè l'irradiazione solare, il calore terrestre, le azioni molecolari, i cambiamenti di stato e l'elettricità; 3.° le *sorgenti chimiche*, cioè le combinazioni molecolari e segnatamente la combustione. È alle sorgenti chimiche che vuol essere riferito il *calore animale*, il cui studio è del dominio della fisiologia.

Sorgenti meccaniche.

412. **Calore prodotto dallo strofinamento.** — Lo strofinamento reciproco di due corpi sviluppa una quantità di calorico tanto più grande quanto più forte è la compressione e più rapido il movimento. Per es., spesse volte i bossoli delle ruote da carrozza, per effetto del loro attrito contro le sale, si riscaldano al punto di accendersi. H. Davy ottenne la parziale fusione di due pezzi di ghiaccio strofinandoli l'uno contro l'altro, in una atmosfera al disotto di 0°. Traforando sotto acqua una massa di bronzo, Rumford trovò che il calore sviluppato dallo strofinamento necessario per ottenere 250 grammi di limatura è capace di scaldare 25 chilogrammi di acqua da 0° a 100°, ciò che rappresenta 2500 calorie (352). All'Esposizione universale del 1855 Baumont e Mayer esposero un apparato per mezzo del quale in alcune ore innalzavano 400 litri d'acqua da 10 a 130 gradi, mediante lo strofinamento di un cono di legno coperto di canape, girante con una velocità di 400 giri per minuto, in una caldaia chiusa perfettamente. Le superficie strofinate erano costantemente unte d'olio.

Nell'acciarino a pietra focaia per il solo effetto dello strofinamento dell'acciaio contro la selce, le particelle metalliche che si staccano si riscaldano al punto d'accendersi nell'aria.

Si attribuisce il calore sviluppato dall'attrito ad un movimento vibratorio che prendono le molecole dei corpi.

413. **Calore dovuto alla compressione ed alla percussione.** — La temperatura d'un corpo compresso in modo da renderne maggiore la densità, si innalza tanto più quanto è più grande la diminuzione del volume. Questo fenomeno, poco sensibile nei liquidi, è più evidente nei solidi; ma nei gas, i quali sono assai compressibili, lo sviluppo di calore è considerevole.

Si dimostra il grande svolgimento di calore che si produce nei gas compressi per mezzo dell'*acciarino pneumatico*. Quest'apparato è composto di un tubo di vetro a pareti grosse, nel quale scorre uno stantuffo di cuoio che chiude esattamente (fig. 277). Nella base interna di

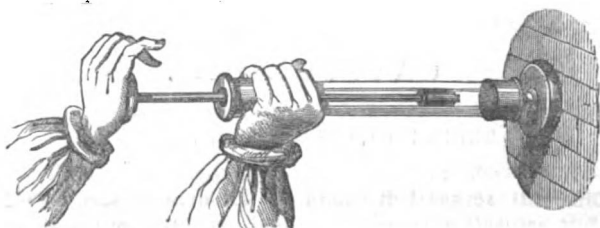



Fig. 277 (l. = 39).

questo stantuffo avvi una cavità entro la quale si colloca un pezzetto di esca. Spingendo rapidamente lo stantuffo verso il fondo del tubo pieno d'aria, questa, per la compressione cui soggiace, si riscalda a segno da accendere l'esca che si vede abbruciare ritirando rapidamente lo stantuffo. In quest'esperimento l'accensione dell'esca dimostra una temperatura corrispondente almeno a 300°. All'istante della compressione, si produce una luce molto viva che dapprima venne attribuita all'alta temperatura alla quale l'aria è portata; ma si riconobbe che essa è dovuta unicamente alla combustione dell'olio di cui è spalmata la superficie dello stantuffo.

La compressione basta per determinare la combinazione e quindi la detuonazione di una mescolanza di ossigeno e di idrogeno, in forza dell'innalzamento di temperatura che viene prodotto.

Il calore sviluppato dalla compressione si attribuisce all'avvicinamento delle molecole, il quale fa passare allo stato di calorico sensibile una certa quantità di calorico latente.

Anche la percussione è una sorgente di calore, siccome si può constatare battendo sull'incudine un metallo malleabile. Il calore che allora si sviluppa non è dovuto soltanto all'avvicinamento delle molecole, ma risulta altresì da un movimento vibratorio, perchè si riscalda anche il piombo, il quale, per mezzo della percussione, non aumenta di densità.

Sorgenti fisiche.

414. **Irradiazione solare.** — Il sole è la sorgente più intensa di calore. Si ignora la causa del calore emesso da quest'astro che alcuni considerano siccome una massa infuocata soggetta ad immense eruzioni, e che altri riguardano come composto di strati reagenti chimicamente gli uni sugli altri, come le coppie della pila voltaica, d'onde ne risulterebbero delle correnti elettriche alle quali sarebbero dovuti la sua luce ed il suo calore. In ambedue queste ipotesi l'incandescenza del sole avrebbe un termine.

Si fecero dei tentativi per misurare la quantità di calorico emessa annualmente dal sole. Pouillet, mediante un apparato da esso chiamato *pireliometro*, giudicò che la quantità totale del calorico che la terra riceve dal sole nel corso di un anno, ove fosse tutta quanta impiegata per fondere del ghiaccio, sarebbe capace di liquefarne uno strato della grossezza di quasi 31 metri su tutta la superficie del globo. Ora, la terra, avuto riguardo alla superficie che presenta all'irradiazione del sole ed alla distanza che la separa dal medesimo, non riceve che $\frac{1}{2381000000}$ del calore solare.

415. **Calorico terrestre.** — Il globo terrestre possiede un calore proprio che si distingue col nome di *calore centrale*. Difatti, ad una profondità poco considerevole, ma che varia a norma dei paesi, si trova uno strato la cui temperatura resta costante in tutte le stagioni; d'onde si conchiude che il calore solare non penetra, al disotto del suolo, che ad una profondità determinata. Indi, al disotto di questo strato, che si denomina *strato invariabile*, si osserva che la temperatura aumenta, in media, di un grado per ogni 30 o 40 metri di profondità. Questa legge dell'aumento della temperatura del suolo è stata verificata sino a grandi profondità, nelle miniere e nei pozzi artesiani. Estendendola sino ad una profondità di 3500 metri, cioè, a poco meno di una lega metrica, la temperatura dello strato corrispondente sarebbe già di 100 gradi. Le acque termali ed i vulcani confermano l'esistenza del calore centrale.

La profondità alla quale si trova lo strato invariabile non è la stessa sui differenti punti del globo; a Parigi essa è di 27 metri, ed a questa profondità la temperatura è costantemente di 11°, 8.

Diverse ipotesi furono immaginate per dare spiegazione del calore centrale. La più generalmente adottata dai fisici e dai geologi è che la terra sia stata primitivamente allo stato liquido in causa di una temperatura elevata, e che, per l'irradiazione, la sua superficie siasi raffreddata a poco a poco in modo da formare una corteccia solida, la quale, anche attualmente, avrebbe soltanto 60 chilometri di grossezza, conservandosi tuttavia allo stato liquido la massa centrale. Il raffreddamento di questa massa non può essere che lentissimo, a motivo della debole conducibilità degli strati terrestri. Per la medesima causa sembra che il calore centrale non elevi la temperatura della superficie del suolo più di $\frac{1}{36}$ di grado.

416. **Calore sviluppato dalla imbibizione e dall'assorbimento.** — I fenomeni molecolari, come l'imbibizione (122), l'assorbimento, le azioni

capillari, sono, in generale, accompagnati da svolgimento di calore. Pouillet ha constatato che ogni qualvolta si versa un liquido su di un solido ben polverizzato, succede un innalzamento di temperatura che varia secondo la natura delle sostanze. Colle materie inorganiche, come i metalli, gli ossidi, le terre, l'elevazione di temperatura è 2 a 3 decimi di grado; ma colle materie organiche, come la spugna, la farina, l'amido, le radici, le membrane essiccate, l'aumento di temperatura varia da 1 a 10 gradi.

L'assorbimento dei gas effettuato dai corpi solidi presenta gli stessi fenomeni. Dobereiner trovò che il platino ben polverizzato, ottenuto allo stato di precipitato chimico e denominato *nero di platino*, collocato nel gas ossigeno, assorbe un volume di questo gas parecchie centinaia di volte maggiore del suo, e la temperatura s'innalza in modo da dare origine a combustioni vivissime. La *spugna di platino*, che si ottiene precipitando col sale ammoniaco il cloruro di platino in soluzione e calcinando il precipitato, produce il medesimo effetto. Un getto di idrogeno diretto contro di essa si accende per lo sviluppo di calore dipendente dall'assorbimento.

Su questo principio è fondato l'*acciarino a spugna di platino*. Quest'apparato si compone di due recipienti di vetro (fig. 278): il primo, A, penetra nel vaso inferiore B per mezzo di una tubulatura smerigliata che lo chiude esattamente. All'estremità di questa tubulatura avvi una massa di zinco Z che si immerge nell'acqua mescolata con acido solforico. Per la reazione reciproca dell'acqua, dell'acido e del metallo, si sviluppa dell'idrogeno, il quale, non trovando dapprima alcuna uscita, respinge l'acqua del vaso B nel vaso A sino a che lo zinco più non peschi nel liquido; il turacciolo del vaso superiore è munito lateralmente di una solcatura che permette l'uscita dell'aria di mano in mano che l'acqua si eleva. Una tubulatura di rame H, fissata su di un lato B, porta un piccolo cono E in cui è praticato un orifizio, al disopra del quale avvi una spugna di platino contenuta in una capsuletta D.

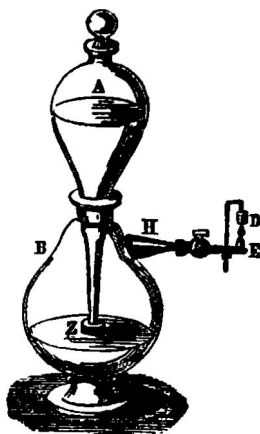



Fig. 278.

Ciò posto, appena che si apre una chiavetta che chiude il tubo di rame, l'idrogeno si sprigiona e si infiamma a contatto del platino. Bisogna aver cura di non presentare il platino alla corrente di idrogeno se non quando questo gas ha trascinato fuori del vaso B tutta l'aria che trovavasi in esso contenuta; altrimenti si produrrebbe una viva detuonazione dovuta alla combinazione dell'ossigeno coll'idrogeno contenuti nel vaso B.

Fabre, il quale fece recentemente delle ricerche sul calore che si sviluppa mentre un gas è assorbito dal carbone (123), giunse a questo notabile risultato che il massimo sviluppo di calore prodotto dall'assorbimento di un grammo d'acido solforoso o di protossido d'azoto sopravanza di gran lunga il calore svolto nella liquefazione di un egual peso dei medesimi gas; per l'acido carbonico, il calore sviluppato dall'assor-

bimento supera anche quello che si svolgerebbe nella sua solidificazione. Onde si deve conchiudere che lo sviluppo di calore nell'assorbimento dei gas non può essere compiutamente spiegato col supporre che il gas assorbito diventi liquido o si solidifichi nei pori del carbone; ma che bisogna inoltre ammettere un'azione speciale tra le molecole del carbone e quelle del gas, azione che Mitscherlich ha denominata col nome di *affinità capillare*.

Del calorico reso libero dai cambiamenti di stato si parlò già agli articoli *Solidificazione e Liquefazione* (302 e 330); la quistione del calorico sviluppato dalla elettricità sarà trattata nella teoria dei fenomeni elettrici.

Sorgenti chimiche.

417. **Combinazioni chimiche, combustione.** — Le combinazioni chimiche sono generalmente accompagnate da uno sviluppo di calore più o meno abbondante. Quando queste combinazioni si compiono lentamente, come avviene allorchè il ferro si ossida all'aria, il calore sviluppato non riesce sensibile; ma quando si compiono rapidamente, lo sviluppo di calore è assai intenso ed in tal caso avviene una *combustione*.

Chiamasi così qualunque combinazione chimica che avvenga con isvolgimento di calore e di luce. Le combustioni della legna, dell'olio, della cera sono combinazioni dell'idrogeno e del carbonio di queste sostanze coll'ossigeno dell'aria. Ma si producono delle combustioni anche indipendentemente dall'ossigeno. Per es. i frammenti di fosforo o l'antimonio in polvere gettati in una bottiglia piena di cloro, si combinano con questo gas con vivo svolgimento di luce e di calore.

Molti combustibili abbruciano con fiamma. Una *fiamma* è un gas od un vapore portato ad un'alta temperatura per effetto della combustione. Il potere rischiarante di una fiamma varia col variare dei prodotti che si formano durante la combustione. La presenza di un corpo solido in una fiamma ne aumenta il potere rischiarante. Le fiamme dell'idrogeno, dell'ossido di carbonio, dell'alcool sono pallide, perchè contengono soltanto dei prodotti gasosi. Ma le fiamme delle candele, delle lampade, del gas illuminante hanno un grande potere rischiarante perchè contengono un eccesso di carbonio, il quale, sfuggendo alla combustione, diventa incandescente nella fiamma. Si aumenta notabilmente l'intensità di una fiamma, collocandovi entro dei fili di platino o dell'amianto. Devesi notare che la temperatura di una fiamma non è in rapporto col suo potere rischiarante. La fiamma dell'idrogeno, che è la più pallida, è quella che sviluppa maggior calore.

418. **Calore sviluppato durante la combustione.** — Molti fisici, e principalmente Lavoisier, Rumford, Dulong, Despretz, Hess, Fabre e Silbermann, si occuparono nel ricercare la quantità di calorico sviluppata dai differenti corpi, durante la combustione e le altre combinazioni.

Per eseguire questi esperimenti Lavoisier si è servito del calorimetro di ghiaccio che venne descritto precedentemente (357); Rumford ha fatto uso di un calorimetro conosciuto sotto il suo nome, e che consiste in una vasca rettangolare di rame piena di acqua; in questa vasca trovasi un serpentino il quale ne attraversa il fondo e finisce inferiormente in forma di imbuto rovesciato. Sotto quest'imbuto si fanno abbruciare i corpi sui quali si vuole esperimentare. I prodotti della com-

bustione, attraversando il serpentino, riscaldano l'acqua della vasca e dall'innalzamento della temperatura si deduce poi il calore sviluppato.

Despretz e Dulong modificarono successivamente il calorimetro di Rumford, facendo abbruciare i corpi non più al disotto della vasca che contiene l'acqua da riscaldarsi, ma in una camera di combustione collocata nel seno stesso del liquido; l'ossigeno necessario alla combustione giungeva per mezzo di un tubo alla parte inferiore della camera, ed i prodotti della combustione sfuggivano per un altro tubo situato alla parte superiore ed avvolto a serpentino nella massa del liquido che dovevano riscaldare. Infine, il calorimetro venne perfezionato principalmente per opera di Fabre e Silbermann, in modo di evitare il meglio possibile le cause di errore e di poter determinare non solo la quantità di calore sviluppata nella combustione, ma anche nelle altre azioni chimiche.

Prendendo per unità di calorico la quantità di calorico necessaria per innalzare da 1° la temperatura di 1 chilogrammo di acqua, Dulong ha trovato che un chilogrammmo delle seguenti sostanze sviluppa, nell'abbruciare, i numeri di unità esposti in questa tavola:

Idrogeno.	34600	Carbon fossile di mediocre qualità .	7600
» protocarbonato.	13205	Carbonio puro.	7295
» bicarbonato	12032	Alcool a 42° gradi di Baumé . . .	6855
Essenza di trementina.	10846	Legno assai secco	3652
Olio di ulivo	9862	Solfo	2601

I numeri trovati anteriormente da altri fisici differivano talvolta troppo da quelli ottenuti da Dulong, soprattutto pel carbonio, ma al giorno d'oggi l'accordo quasi perfetto fra i risultati avuti da Fabre e Silbermann e quelli di Dulong mostra l'esattezza dei numeri ottenuti da questo fisico.

Gli esperimenti di Dulong, di Despretz e di Hess dimostrano che un corpo, nell'abbruciare, produce sempre la stessa quantità di calorico per giungere allo stesso grado di ossidazione, sia che vi arrivi immediatamente, oppure soltanto progressivamente. Per es. un grammo di carbonio che si trasforma direttamente in acido carbonico sviluppa la stessa quantità di calorico che avrebbe prodotta trasformandosi dapprima in ossido di carbonio e successivamente in acido carbonico.

RISCALDAMENTO

419. **Differenti modi di riscaldamento.** — Il *riscaldamento* è un' arte che ha per iscopo di approfittare, nell'economia domestica e nell'industria, delle sorgenti di calore che ci offre la natura.

La sorgente di calore comunemente usata fino al presente è la combustione del legno, del carbone, del litantrace, del coke, della torba e dell'antracite.

Avuto riguardo agli apparati che servono alla combustione, si possono distinguere cinque processi di riscaldamento: 1.° riscaldamento a focolare esterno, come nei camini; 2.° a focolare interno, come colle stufe; 3.° ad aria calda; 4.° col vapore; 5.° per circolazione di acqua calda. Noi faremo conoscere successivamente questi diversi processi di riscaldamento.

420. **Camini**. — I *camini* sono focolari aperti, applicati ad un muro e sormontati da una canna o *gola* a traverso la quale sfuggono i prodotti aeriformi della combustione. L'invenzione dei camini sembra rimontare sino al primo secolo dell'êra cristiana. In tempi più remoti il focolare era collocato nel mezzo dell'ambiente che si voleva riscaldare, ed il fumo sfuggiva da un'apertura praticata nel tetto. Pertanto, Vitruvio consigliava di non adornare gli appartamenti d'inverno di opere sontuose le quali verrebbero danneggiate dal fumo e dalla fuliggine.

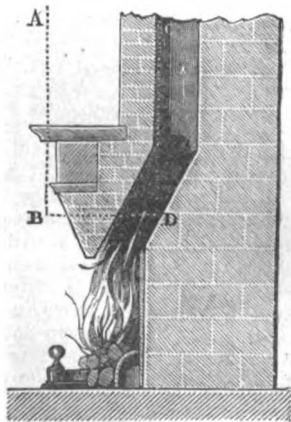
I primi camini, sebbene applicati contro i muri, non erano circondati da stipiti, ma soltanto sormontati da una *capanna* che guidava il fumo al di fuori. Soltanto nei tempi moderni venne data ai camini la forma che hanno oggidì. Tra i fisici che li hanno successivamente perfezionati meritano speciale menzione Filiberto Delorme, Gauger, Franklin e Rumford.

I camini, per quanto la loro costruzione sia stata perfezionata, sono ancora il mezzo di riscaldamento più imperfetto e più dispendioso, perchè non utilizzano che una piccola quantità del calorico sviluppato dal combustibile; di fatti, colla legna ne utilizzano soltanto il 6 per cento all'incirca, e col coke e col carbon fossile il 13 per cento. Questa enorme perdita di calorico è cagionata dalla corrente d'aria che alimenta la combustione, e che, versandosi nell'atmosfera, vi diffonde una gran parte del calore prodotto. Per ciò Franklin diceva che volendo ottenere il minore riscaldamento con una data quantità di combustibile bisognava adottare i camini. Cionullostante, i camini sono e saranno sempre il mezzo di riscaldamento più gradito e più salubre per la presenza del fuoco e perchè producono un continuo rinnovamento dell'aria negli appartamenti.

421. **Aspirazione dei camini**. — Chiamasi *aspirazione* di un camino una corrente dal basso all'alto che si stabilisce nella sua gola, in causa dell'ascesa dei prodotti della combustione; quando la corrente è rapida e continua si dice che l'aspirazione è buona.

Fig. 279.

L'aspirazione è prodotta dalla differenza di temperatura all'interno della gola e al di fuori. Siccome le sostanze gasose che riempiono la gola, in causa di questa differenza, sono meno dense dell'aria dell'appartamento, l'equilibrio è impossibile (166). Di fatti, il peso della colonna gasosa CD (fig. 279), nella gola, essendo minore di quello della colonna d'aria esterna AB della medesima altezza, ne risulta, dall'esterno verso l'interno del camino, un eccesso di pressione che spinge entro la gola i prodotti della combustione tanto più rapidamente quanto è maggiore la differenza di peso fra le due masse gasose.

Si può verificare assai bene l'esistenza delle correnti prodotte nei gas dalle differenze di temperatura per mezzo del seguente esperimento.

Aprendo una porta che mette in comunicazione due camere, delle quali una sola sia riscaldata, indi collocando verso la parte superiore della porta stessa una candela accesa, si vede che la fiamma si dirige dalla camera calda verso la camera fredda; invece, ponendo la candela in terra, si vede che la fiamma si dirige dalla camera fredda verso la camera calda. Questi due effetti sono prodotti da una corrente d'aria calda che sfugge dalla parte superiore della porta, e da una corrente d'aria fredda che si sostituisce alla prima, entrando per la parte inferiore.

Per avere una buona aspirazione, un camino deve soddisfare alle seguenti condizioni:

1.ª La sezione della gola deve avere la dimensione strettamente necessaria per l'efflusso dei prodotti della combustione; altrimenti, ove questa sezione sia troppo grande, si stabiliscono contemporaneamente delle correnti ascendenti e delle correnti discendenti, ed il camino fa fumo. Alla sommità della gola conviene collocare un tubo conico più stretto, onde il fumo esca con una velocità che basti per resistere all'azione del vento.

2.ª La gola del camino deve essere sufficientemente elevata, perchè, siccome l'aspirazione è prodotta dall'eccesso della pressione esterna sulla pressione interna, questo eccesso sarà tanto maggiore quanto più alta è la colonna d'aria scaldata.

3.ª L'aria esterna deve penetrare nell'appartamento in cui trovasi il camino abbastanza rapidamente per corrispondere alla chiamata del focolare. In un appartamento affatto chiuso, il combustibile non abbrucerebbe, o si stabilirebbero delle correnti d'aria discendenti che spingerebbero il fumo nell'appartamento. D'ordinario, l'aria rientra in quantità sufficiente dalle fessure delle porte e delle finestre.

4.ª Si deve evitare di far comunicare fra loro due gole di camino, perchè se l'aspirazione di uno di essi è più attiva di quella dell'altro, si produce in quest'ultimo una corrente d'aria discendente che respinge il fumo nell'appartamento.

422. **Stufa.** — Le *stufe* sono apparecchi di riscaldamento a focolare isolato collocate entro la massa d'aria che si vuol riscaldare, in modo che il calorico viene irradiato in tutte le direzioni. Alla parte inferiore trovasi l'apertura per cui ha accesso l'aria necessaria alla combustione, i di cui prodotti poi sfuggono dalla parte superiore per mezzo di tubi più o meno lunghi. Siccome questi prodotti gasosi escono dall'apparecchio già molto raffreddati, si utilizza quasi tutto il calore sviluppato; epperò questo modo di riscaldamento è più economico, ma è molto meno salubre di quello che si ottiene coi camini, perchè produce soltanto una ventilazione assai scarsa, o non ne produce affatto quando vi si fa arrivar l'aria dall'esterno come si pratica nelle stufe svedesi. Inoltre le stufe hanno l'inconveniente di spandere un odore disaggradevole e nocivo, specialmente se sono costrutte in ghisa od in lamiera di ferro; il quale effetto devesi probabilmente attribuire alla decomposizione di sostanze organiche diffuse nell'aria e che vengono a contatto colle pareti calde delle stufe.

Colle stufe di metallo annerito, le quali hanno un grande potere emissivo, il riscaldamento è più rapido; ma queste stufe si raffreddano anche più presto. Le stufe di terra, il cui potere emissivo è minore, danno un riscaldamento più lento, ma più durevole e più gradito.

423. Riscaldamento per mezzo del vapore. — La proprietà che hanno i vapori di restituire, nel condensarsi, il loro calorico di vaporizzazione, venne utilizzata per il riscaldamento dei bagni, dei laboratorii, dei pubblici edifici, delle serre, delle stufe. Perciò si fa produrre il vapore in caldaie analoghe a quella che fu descritta all'articolo *Generatore a vapore* (fig. 270); indi, lo si fa circolare entro tubi collocati nei luoghi che si vogliono riscaldare. Il vapore si condensa in questi tubi e cede ad essi tutto il suo calorico latente, il quale diventa libero durante la condensazione. Questo calorico si trasmette poi all'aria esterna od al liquido nel quale sono immersi i tubi conduttori.

424. Riscaldamento per mezzo dell'aria calda. — Il riscaldamento per mezzo dell'aria calda consiste nello scaldar l'aria alla parte inferiore di un edificio e nel lasciare che, in virtù della sua minor densità, salga fino ai piani superiori entro condotti collocati nei muri. L'apparato viene disposto come dimostra la fig. 280. Un fornello F, collocato nelle

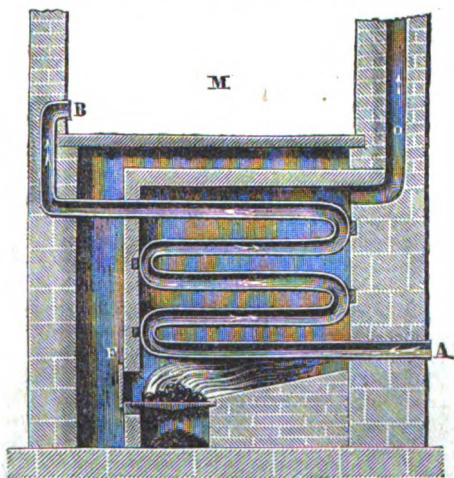



Fig. 280.

cantine, contiene un sistema di tubi ricurvi AB posti l'uno accanto all'altro, dei quali uno solo è visibile nella figura. L'aria esterna penetra per l'apertura A nel tubo, dove si scalda e, sollevandosi nella direzione delle frecce, entra nell'ambiente M per l'apertura superiore B che chiamasi *bocca di calore*.

Nei differenti piani, ogni camera ha una o parecchie consimili bocche di calore, le quali sono praticate vicino al pavimento perchè l'aria calda tende sempre ad innalzarsi.

Il condotto O è una gola da camino ordinaria, attraverso la quale sfuggono i prodotti della combustione che si formano nel fornello.

Questi apparati, distinti col nome di *caloriferi*, sono molto più economici dei camini, ma non possono produrre un abbastanza rapido rinnovamento dell'aria negli appartamenti e per conseguenza sono meno salubri.

425. Riscaldamento per circolazione d'acqua calda. — Il riscaldamento per circolazione d'acqua calda si ottiene per mezzo di un movimento circolatorio continuo di acqua, la quale, dopo di essersi riscaldata in una caldaia, si innalza in una serie di tubi; indi, dopo di essersi raffreddata, ritorna alla caldaia per un'altra serie di tubi consimili.

Il primo apparecchio atto a questo genere di riscaldamento fu inventato da Bonnemain, in Francia, verso la fine del secolo passato; però fu Leone Duvoir che diede a questi apparati la forma che hanno oggidì. La figura 281 rappresenta la disposizione adottata da questo

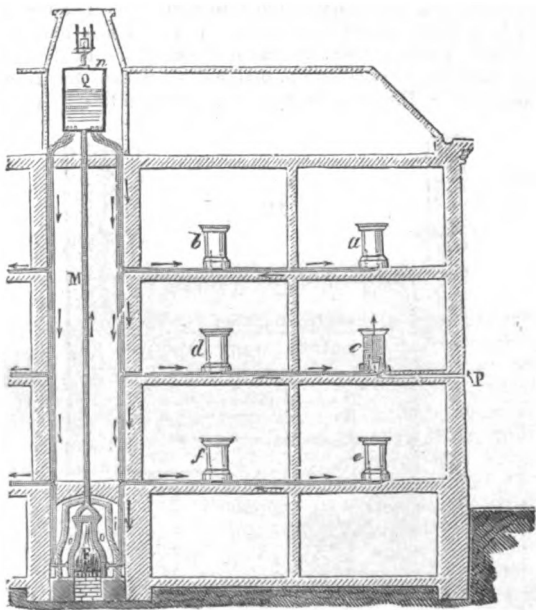



Fig. 281.

ingegnere per riscaldare un edificio di parecchi piani. L'apparecchio di riscaldamento, collocato nelle cantine, consiste in una caldaia *oo*, in forma di campana ed a focolare interno F. Alla parte superiore della caldaia è fissato un lungo tubo M che comunica con un serbatoio Q, collocato nella parte più alta dell'edificio che si vuol riscaldare. Questo serbatoio porta, alla sua parte superiore, una tubulatura *n* chiusa da una valvola *s* che si carica più o meno per limitare la tensione del vapore nell'interno dell'apparato.

Ciò posto, quando la caldaia, il tubo M ed una parte del serbatoio Q siano riempiti d'acqua, a misura che questo liquido si riscalda nella caldaia, si produce nel tubo M fino al serbatoio Q una corrente ascendente d'acqua calda, mentre, nel medesimo tempo, partendo dalla parte inferiore del serbatoio Q, si formano delle correnti discendenti d'acqua

meno calda e più densa, che vanno per mezzo di tubi nei recipienti *b,d,f* pieni d'acqua. Da questi partono altri tubi per mezzo dei quali la corrente discendente continua fino ad altri recipienti *a*, *c*, *e*; poi finalmente, da questi ultimi, mediante tubi di ritorno, la corrente si porta alla parte inferiore della caldaia.

Durante questo tragitto, l'acqua calda cede successivamente il suo calorico sensibile ai tubi ed ai recipienti, i quali si riscaldano e divengono vere stufe ad acqua. Si può determinare facilmente quante di queste stufe e di quali dimensioni occorrano per riscaldare uno spazio determinato, fondandosi sul principio fornito dall'esperienza e dalla teoria che un litro d'acqua basta per riscaldare sufficientemente 3200 litri d'aria. Due di queste stufe ponno, durante l'inverno, mantenere alla temperatura di 15 gradi 600 a 700 metri cubi d'aria.

Nell'interno di questi recipienti vi sono dei tubi di ghisa pieni di aria guidati dall'esterno per mezzo di tubi P, collocati sotto il pavimento. Quest'aria si riscalda nei tubi, indi esce dalla parte superiore dei recipienti.

Il principale vantaggio di questo modo di riscaldamento è di dare una temperatura sensibilmente costante per un lunghissimo tempo, perchè la massa d'acqua contenuta nei tubi e nei recipienti si raffredda lentamente; epperò è usitatissimo per le serre, l'incubazione artificiale, ed in generale, in tutti i casi in cui necessita una temperatura uniforme.

SORGENTI DI FREDDO

426. **Diverse sorgenti di freddo.** — Le cause di freddo sono: il passaggio dallo stato solido allo stato liquido mediante le azioni chimiche, l'evaporazione, la dilatazione dei gas, l'irradiazione in generale e specialmente l'irradiazione notturna. Avendo già fatto conoscere le prime due di queste cause (306 e 329), qui parleremo solo delle altre.

427. **Freddo prodotto dalla dilatazione dei gas.** — Abbiamo veduto (413) che sottoponendo alla compressione i gas, una parte del loro calorico latente diventa libera, e la temperatura si innalza. Reciprocamente, la rarefazione di un gas è accompagnata da un abbassamento di temperatura, perchè una certa quantità di calorico libero diventa latente. Per dimostrare questo fenomeno, si colloca un termometro di Bréguet (267) sotto il recipiente della macchina pneumatica, e si fa il vuoto; a ciascun colpo di stantuffo l'indice si avanza verso lo zero, e se ne allontana tosto che cessa di progredire la rarefazione.

Si osserva che il freddo prodotto dalla dilatazione di un gas è generalmente minore del calore prodotto dalla sua compressione; ciò si spiega perchè il calore ceduto dalle pareti del corpo di tromba, nel primo caso, è maggiore di quello che esse assorbiscono nel secondo, giacchè lo stantuffo ritirandosi pone il gas a contatto con una superficie sempre maggiore.

428. **Freddo prodotto dall'irradiazione notturna.** — Di giorno la superficie del suolo riceve dal sole una quantità di calorico maggiore di quella che emette verso gli spazi celesti, e la sua temperatura si innalza. Di notte accade l'opposto. Il calorico che la terra perde allora per irradiazione non è più compensato, e ne risulta un abbassamento, perchè, quando vi son nubi, queste emettono verso il suolo dei raggi di intensità molto meno debole di quella dei raggi che provengono da-

gli spazi celesti. Di fatti si osserva che durante certe invernate i fiumi non gelano, sebbene il termometro sia, durante il corso di parecchi giorni, al disotto di — 4°, quando però il cielo sia coperto di nubi; mentre, in altre invernate men rigide, i fiumi gelano se il cielo è sereno. Anche il potere emissivo (385) ha una grande influenza sul raffreddamento prodotto dall'irradiazione notturna: quanto più questo potere è grande, tanto più il raffreddamento è considerevole.

Vedremo più innanzi, in METEOROLOGIA, che il raffreddamento prodotto dall'irradiazione notturna è la causa del fenomeno della rugiada.

Al Bengala il raffreddamento notturno è utilizzato per ottenere artificialmente del ghiaccio. A questo effetto, durante le notti serene, si espongono sul suolo dei grandi vasi piani, pieni d'acqua, avendo cura di isolarli sopra sostanze non conduttrici, come paglia, foglie secche. Ivi, per effetto dell'irradiamento notturno, questi raffreddano abbastanza perchè l'acqua si congeli, anche quando l'aria è a 10 gradi al disopra di zero. Lo stesso processo può essere evidentemente impiegato con successo ovunque il cielo sia sereno.

LIBRO VII.

DELLA LUCE

CAPITOLO PRIMO

TRASMISSIONE, VELOCITA' ED INTENSITA' DELLA LUCE

429. **Luce, ipotesi sulla sua natura.** — La *luce* è l'agente che produce in noi, mediante la sua azione sulla retina, il fenomeno della visione. La parte della fisica che fa conoscere le proprietà della luce si chiama *ottica*.

Per ispiegare l'origine della luce si adottarono le stesse ipotesi abbracciate pel calorico, l'ipotesi cioè dell'*emissione* e quella delle *ondulazioni*. Nella prima, sostenuta da Newton, si ammette che i corpi luminosi emettono in tutte le direzioni, sotto forma di molecole tenuissime, una sostanza imponderabile, che si move in linea retta con una velocità quasi infinita. Queste molecole, penetrando nell'occhio, reagiscono sulla retina e determinano la sensazione che costituisce la visione.

Nell'ipotesi delle ondulazioni, sostenuta da Cartesio, Grimaldi, Huyghens, Young, Malus e Fresnel, si ammette che le molecole dei corpi luminosi siano animate da un movimento vibratorio rapidissimo che si comunica ad un fluido eminentemente sottile ed elastico sparso in tutto l'universo, ed a cui si dà il nome di *etere*, e che uno scuotimento in un punto qualunque dell'etere si propaghi in tutti i sensi sotto forma di onde sferiche luminose, nello stesso modo che il suono si propaga nell'aria per mezzo delle onde sonore. Però, si ammette che le vibrazioni dell'etere si producono non perpendicolarmente alla superficie dell'onda luminosa, come nella propagazione del suono, ma in questa stessa superficie, cioè perpendicolarmente alla direzione che segue la luce propagandosi, ciò che si esprime dicendo che le vibrazioni sono *trasversali*. Si può acquistare un'idea di queste vibrazioni scuotendo una corda per uno de'suoi capi: il movimento si propaga serpeggiando sino all'altro capo; adunque la propagazione avviene nel senso della lunghezza della corda, ma le vibrazioni si compiono in linea trasversale.

Nel sistema delle ondulazioni Fresnel giunse a dare una spiegazione completa di vari fenomeni luminosi, come quelli della *diffrazione* e degli *anelli colorati*, che non si potevano spiegare nel sistema dell'emissione. Perciò, dopo i lavori di Fresnel, la teoria delle ondulazioni è quella quasi generalmente adottata.

430. **Corpi luminosi, illuminati, diafani, pellucidi, opachi.** — Chiamansi *corpi luminosi* quelli che emettono luce, come il sole ed i corpi ignescenti. I corpi luminosi non sono i soli che possiamo vedere; anche i corpi non luminosi possiamo vederli, ma a condizione che siano rischiarati, cioè che ricevano luce da una sorgente qualunque. Questa luce essendo in seguito rimandata in tutte le direzioni da questi corpi, come vedremo trattando della *riflessione* (440), è dessa che ce li fa vedere. È così che vediamo tutti i corpi non luminosi situati al disopra del nostro orizzonte visuale; ma nella oscurità cessano di essere visibili, mentre i corpi luminosi lo sono sempre per sè stessi.

Corpi diafani o *trasparenti* sono quelli che lasciano passare facilmente la luce, ed a traverso dei quali si distinguono gli oggetti; tali sono l'acqua, i gas, il vetro liscio. *Corpi pellucidi* sono quelli a traverso ai quali si scorge ancora la luce, ma senza che si possa riconoscere la forma degli oggetti; tali sono il vetro smerigliato, la carta unta d'olio. Finalmente si chiamano *corpi opachi* quelli che non si lasciano attraversare dalla luce, come il legno, i metalli. Tuttavia non vi sono corpi perfettamente opachi; tutti sono più o meno pellucidi, quando siano ridotti in foglie abbastanza sottili.

431. **Raggio e fascio luminoso.** — Chiamasi *raggio luminoso* la linea che segue la luce propagandosi, e *fascio luminoso* un insieme di raggi emessi da una sola sorgente. Dicesi *parallelo* un fascio luminoso quando è composto di raggi paralleli; *divergente* quando i raggi si allontanano gli uni dagli altri, e *convergente* quando i raggi concorrono verso uno stesso punto. Ogni corpo luminoso emette da tutti i suoi punti ed in tutte le direzioni dei raggi rettilinei divergenti. Un fascio molto sottile si chiama *penello*.

432. **Propagazione della luce in un mezzo omogeneo.** — Chiamasi *mezzo* lo spazio pieno o vuoto nel quale si produce un fenomeno. L'aria, l'acqua, il vetro sono mezzi nei quali si propaga la luce. Dicesi *omogeneo* quel mezzo che ha in tutte le sue parti la stessa complicazione chimica e la stessa densità.

Ciò posto, *in qualsiasi mezzo omogeneo, la luce si propaga in linea retta*. Di fatti, se si colloca un corpo opaco sulla linea retta che congiunge l'occhio con un corpo luminoso, la luce è intercettata. Si può anche notare che la luce la quale penetra in una camera nera, a traverso una piccola apertura, segna nell'aria una traccia luminosa rettilinea che diventa visibile perchè rischiara i pulviscoli leggeri sospesi nell'atmosfera.

Tuttavia la luce cangia di direzione allorchè incontra un ostacolo nel quale non può penetrare, o quando passa da un mezzo in un altro; questi fenomeni saranno descritti sotto i nomi di *riflessione* e di *rifrazione*.

433. **Ombra, penombra, riflesso.** — L'*ombra* di un corpo è la parte dello spazio ove esso impedisce alla luce di penetrare. Quando si tratta di determinare l'estensione e la forma dell'ombra proiettata da un corpo, si ponno distinguere due casi: quello in cui la sorgente luminosa è un punto unico, e quello in cui è un corpo di una estensione qualunque.

Nel primo caso, si rappresenti con S (fig. 282) il punto luminoso e con M il corpo che porta l'ombra e che noi supporremo sferico. Se si

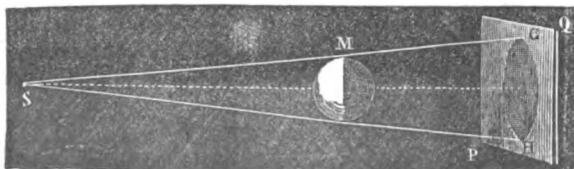



Fig. 282.

immagina che una retta indefinita SG si muova all'intorno della sfera M rimanendole tangente e passando costantemente pel punto S, questa retta genera una superficie conica, la quale, al di là della sfera, separa la porzione dello spazio che trovasi nell'ombra da quella che è rischiarata. In questo caso, collocando al di là del corpo opaco un diaframma PQ, il passaggio dall'ombra alla luce, su questo diaframma, sarebbe chiaramente delineato; ma questo non accade nei casi ordinarî in cui i corpi luminosi hanno sempre una certa estensione.

In fatti, per semplificare la dimostrazione, supponiamo che il corpo illuminante ed il corpo illuminato siano due sfere SL ed MN (fig. 283). Se si immagina che una retta indefinita AG si muova tangenzialmente

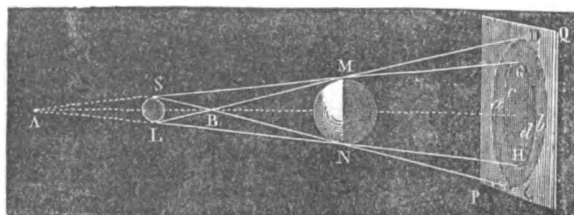



Fig. 283.

a queste sfere, tagliando costantemente la linea dei centri nel punto A, essa genera una superficie conica avente per vertice questo punto, e che limita, dietro la sfera MN, uno spazio MGHN completamente privo di luce. Ora, se una seconda retta LD, che taglia la linea dei centri in B, gira ancora tangenzialmente alle due sfere in modo da generare una nuova superficie conica BDC, si riconosce, osservando la figura, che tutto lo spazio esteriore a questa superficie è completamente rischiarato, ma che la parte compresa fra le due superficie coniche non è completamente priva di luce nè completamente illuminata. Di modo che, se si colloca un diaframma PQ dietro al corpo opaco, la parte *cGdH* di questo diaframma trovasi compiutamente nell'ombra; mentre è facile lo scorgere che la parte anulare *ab* riceve luce da certi punti del corpo luminoso, ma non ne riceve da tutti. Questa parte del diaframma è adunque più rischiarata dell'ombra propriamente detta, ma meno del resto del diaframma; epperò chiamasi *penombra*.

Le ombre che ora abbiamo costrutte sono le *ombre geometriche;* ma le *ombre fisiche*, cioè quelle che realmente si osservano, non sono così rigorosamente limitate. In fatti si riconosce che una certa quantità di luce passa nell'ombra e che reciprocamente si trova nell'ombra della parte rischiarata. Questo fenomeno che descriveremo in seguito, è conosciuto sotto il nome di *diffrazione* (558).

Quando un corpo opaco intercetta la luce con una delle sue superficie, la superficie opposta non è giammai completamente oscura; ma è più o meno rischiarata dalla luce che si riflette sui corpi vicini. L'effetto di questo riverbero chiamasi *riflesso.* Ora, siccome la luce riflessa da un corpo colorato partecipa, in generale, del colore proprio di questo corpo, ne risulta che i riflessi medesimi assumono la tinta degli oggetti circostanti. I pittori nei loro quadri, i tappezzieri nella scelta delle tappezzerie, le donne in quella dei loro abbigliamenti, approfittano artificiosamente degli effetti di luce prodotti dai riflessi.

434. **Immagini prodotte da piccole aperture.** — Allorchè si ricevono su di un diaframma bianco i raggi luminosi che penetrano in una camera oscura *a traverso di una piccola apertura*, si ottengono delle immagini degli oggetti esterni, le quali presentano i seguenti fenomeni: 1.° esse sono capovolte; 2.° la loro forma, la quale è sempre quella dell'oggetto esterno, è indipendente dalla forma dell'apertura.

Il rovesciamento delle immagini risulta da ciò che i raggi luminosi i quali provengono dagli oggetti esterni e penetrano nella camera oscura, passando a traverso all'apertura, si incrociano, come dimostra la figura 284. Continuando a propagarsi in linea retta i raggi partiti

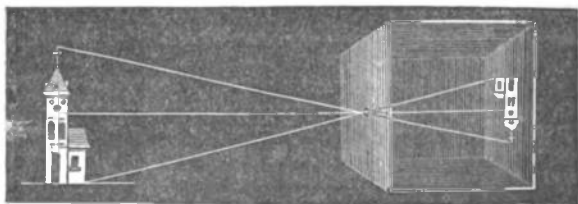



Fig. 284.

dai punti più elevati incontrano il diaframma nei punti più bassi, e reciprocamente quelli partiti dai punti inferiori lo incontrano nei punti più alti. Da ciò il rovesciamento dell'immagine. All'articolo *Camera oscura* (512) si vedrà come si aumenti il lume e la chiarezza delle immagini per mezzo di vetri convergenti, e con quali processi si ponno raddrizzare.

Per dimostrare come la forma dell'immagine è indipendente da quella dell'apertura, quando questa sia abbastanza piccola ed il diaframma si trovi a sufficiente distanza, si immagini un'apertura O triangolare (fig. 285) praticata in una delle pareti della camera oscura, ed un diaframma *ab* sul quale si riceve l'immagine di una fiamma AB collocata all'esterno. Da ciascun punto della fiamma penetra, nella camera oscura, un fascio divergente che forma sul diaframma un'immagine triangolare simile all'apertura. Ora, la riunione di tutte queste immagini parziali produce

un'immagine totale che ha la stessa forma dell'oggetto rischiarante. In fatti, se si immagina che una retta indefinita si muova nell'apertura

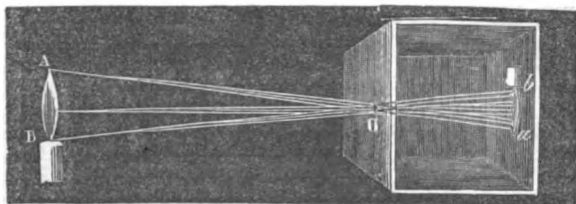



Fig. 285.

della camera oscura, supposta piccolissima, rimanendo sempre tangente all'oggetto luminoso AB, si può ammettere che nel suo movimento, la retta descrive due coni aventi per vertice l'apertura stessa della camera oscura e per base uno il corpo luminoso e l'altro la parte rischiarata dal diaframma cioè l'immagine. Per conseguenza, se il diaframma è perpendicolare alla retta che congiunge il centro dell'apertura col centro del corpo luminoso, l'immagine è simile a questo corpo; ma se il diaframma è obbliquo, l'immagine è allungata nel senso dell'obbliquità. Ciò si osserva, per es., nell'ombra portata dalle foglie degli alberi: i fasci luminosi che passano a traverso le foglie presentano delle immagini del sole, che sono rotonde od elittiche, secondo che il terreno sul quale si proiettano, è perpendicolare od obbliquo ai raggi solari, qualunque sia poi la forma degli intervalli esistenti tra le foglie a traverso dei quali passa la luce.

435. **Velocità della luce.** — La luce si propaga con una velocità tale che alla superficie della terra, qualunque sia la distanza, non si può constatare verun intervallo apprezzabile fra l'istante in cui un fenomeno luminoso si produce e quello in cui l'occhio lo scorge: pertanto questa velocità è stata dapprima determinata mediante le osservazioni astronomiche. Rœmer, astronomo danese, pel primo dedusse, nel 1675, la velocità della luce dall'osservazione degli eclissi del primo satellite di Giove.

Si sa che Giove è una pianeta intorno al quale girano rapidamente quattro satelliti, nel modo istesso che la luna gira intorno alla terra. Il suo primo satellite E (fig. 286) fa le sue immersioni, cioè entra nell'ombra proiettata da Giove *j*, ad intervalli di tempo eguali, che sono di 42 ore, 28′ 36″. Vi è dunque periodicamente eclissi del satellite a ciascuno di questi intervalli. Ora, prima di Rœmer, Domenico Cassini aveva costrutto delle tavole, che basate su un gran numero di osservazioni dovevano servire a predire gli eclissi dei satelliti di Giove. Ma, facendo uso di queste tavole, Rœmer osservò che le loro indicazioni erano, alcuna volta in avanzamento, altre volte in ritardo sugli eclissi. Quando Giove era in opposizione, vale a dire quando la terra era fra questo pianeta e il sole, accadeva l'avanzamento; e al contrario al momento delle congiunzioni, cioè quando il sole era tra la terra e Giove, si verificava il ritardo. Fu questa osservazione che condusse Rœmer alla scoperta della velocità della luce.

Infatti, al momento dell'opposizione o per posizioni vicine, il sole essendo in S, la terra in T, e Giove in j, la distanza dalla terra da Giove,

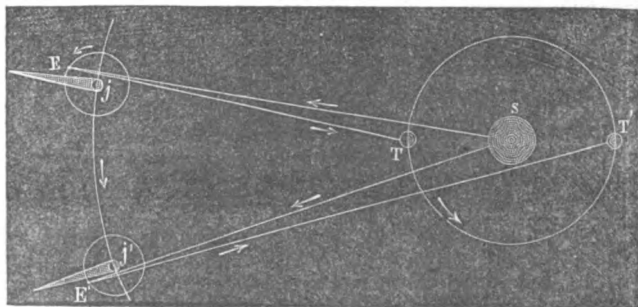



Fig. 286.

e per conseguenza, dal suo satellite E, è sensibilmente $Sj - TS$, vale a dire la differenza tra la distanza del sole da Giove e quella della terra dal sole; mentre nelle congiunzioni, per esempio, quando la terra trovasi in T′ e Giove in j', la distanza della terra da Giove è $Sj' + T'S$. Da che si vede che la distanza $T'j'$ sorpassando Tj di due volte la distanza della terra dal sole, la luce solare riflessa dal satellite E verso la terra ha da percorrere nel secondo caso un cammino maggiore che non nel primo di due volte ST; da ciò la causa del ritardo osservata da Rœmer.

Per valutare codesto ritardo, concepiamo che si osservi un eclisse del satellite E, vale a dire l'istante della sua immersione nel cono di ombra proiettato da Giove, quando questo pianeta è in j e la terra in T; poi un secondo eclisse quando questi due astri sono in j' e in T′, vale a dire quando la distanza della terra da Giove è aumentata di tutto il diametro dell'orbita terrestre. Ora, invece di trovare che il tempo trascorso fra queste due osservazioni sia un multiplo di 42 ore, 28 primi, 36 secondi, per il numero di eclissi che sono accaduti durante il passaggio della terra da T in T′, si trova un intervallo maggiore di 16 primi e 26 secondi. La luce ha dunque impiegato 16 primi e 26 secondi per percorrere la distanza TT′, vale a dire due volte la distanza della terra dal sole. Da che si conchiude che per percorrere la distanza della terra dal sole, la luce impiega 8 primi e 13 secondi; ciò che, dietro questa distanza, rappresenta una velocità, per secondo, di 77 000 leghe da 4 000 metri.

Questa velocità di 77 000 leghe è quella trovata da Struve coll'osservazione della aberrazione delle stelle fisse; la velocità trovata da Rœmer è un po' maggiore.

Le stelle più vicine alla terra sono lontane almeno 206 265 più del sole. La luce che esse ci mandano impiega dunque più di tre anni e un quarto per giungere fino a noi. Quanto alle stelle che non sono visibili che coll'aiuto del telescopio, esse sono ad una distanza tale dalla terra, che abbisogna delle migliaia d'anni perchè la loro luce giunga fino a noi. Questi astri potrebbero essere dunque estinti da secoli, che noi continueremmo a contemplarli e a studiare il loro movimento.

436. Esperienza di Foucault per misurare la velocità della luce. — Ad onta della prodigiosa velocità della luce, Foucault giunse a misurarla sperimentalmente con un ingegnoso apparecchio fondato sull'uso dello specchio girante già adottato da Wheatstone per misurare la velocità dell'elettricità.

Prima di descrivere quest'apparato, avvertiamo il lettore che per comprendere quanto segue bisogna conoscere le proprietà degli specchi e delle lenti, che verranno esposte ai paragrafi 452 e 481. La figura 287

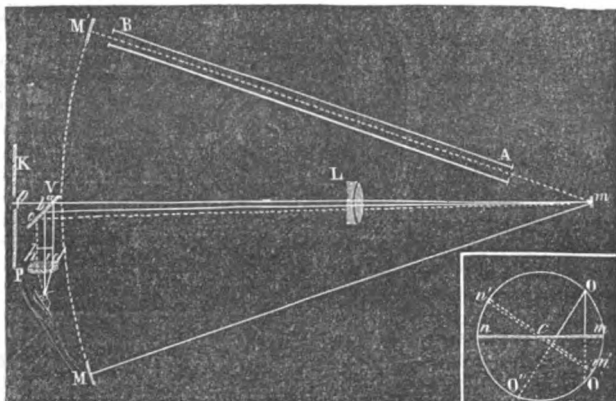



Fig. 287. Fig. 288.

rappresenta, in un piano orizzontale, le principali disposizioni dell'apparato di Foucault. Nella parete K di una camera oscura è praticata un'apertura quadrata, dietro la quale è teso verticalmente un filo di platino *o*. Un fascio di luce solare, riflessa esternamente su di uno specchio, penetra nella camera oscura a traverso dell'apertura quadrata, incontra il filo di platino e di là si dirige su di una lente acromatica L, a lungo fuoco, situata ad una distanza, dal filo di platino, minore del doppio dalla distanza focale principale. L'immagine del filo di platino tende allora a formarsi nell'asse della lente con dimensioni più o meno amplificate. Ma il fascio luminoso, dopo di avere attraversata la lente, incontra uno specchio piano *m*, che gira con grande velocità e, riflettendosi su lo stesso, va a formare nello spazio un'immagine del filo di platino, la quale si sposta con una velocità angolare doppia di quella dello specchio [1]. Questa immagine viene riflessa da uno specchio M concavo e fisso, il cui centro di curvatura coincide coll'asse di rotazione dello specchio girante *m* e col suo centro di figura. Il fascio riflesso

[1] Per dimostrarlo, si rappresenti con *mn* (fig. 288) lo specchio girante, con O un oggetto fisso collocato davanti al medesimo e la cui immagine si produce in O'. Quando lo specchio arriva nella posizione *m'n'*, l'immagine si produce in O''. Ora, i due angoli O'OO'' ed *mcm'* sono eguali, perchè hanno i lati rispettivamente perpendicolari; ma l'angolo inscritto O'OO'' ha per misura soltanto la metà dell'arco O'O'', mentre l'angolo al centro *mcm'* ha per misura l'intero arco *mm'*. Adunque l'arco O'O'' è doppio di *mm'*, il che dimostra la velocità angolare dell'immagine essere doppia di quella dello specchio.

sullo specchio M ritorna sopra sè stesso, si riflette di nuovo sullo specchio *m*, attraversa una seconda volta la lente e produce un'immagine del filo di platino sopra questo filo medesimo sintanto che lo specchio *m* gira lentamente.

Per ricevere questa immagine senza intercettare il fascio luminoso che entra per l'apertura K, si colloca fra la lente ed il filo di platino una lastra di vetro V a facce parallele, e la si inclina in modo che i raggi riflessi vadano a cadere su di un potente oculare P.

Ciò posto, se lo specchio *m* è in quiete o gira con poca velocità, il raggio *retrocedente* M*m* incontra lo specchio *m* nella stessa posizione in cui trovasi dopo la prima riflessione; riprende quindi la stessa direzione già seguìta, incontra in *a* lo specchio V, vi si riflette parzialmente e forma in *d*, ad una distanza *ad*, uguale ad *ao*, l'immagine che l'occhio guarda coll'oculare P. Lo specchio *m*, girando, fa ricomparire questa immagine a ciascuna rivoluzione e, se la sua velocità di rotazione è uniforme, l'immagine resta immobile nello spazio. Quando la velocità non sorpassa 30 giri per minuto secondo, le apparizioni successive sono distinte; ma oltre 30 giri le impressioni nell'occhio persistono e l'immagine appare assolutamente continua.

Finalmente, se lo specchio *m* gira con bastante velocità, esso cambia sensibilmente di posizione nel tempo che la luce impiega a percorrere il doppio cammino da *m* in M e da M in *m*; allora il raggio retrocedente, dopo la sua riflessione sullo specchio *m*, prende la direzione *mb* e forma la propria immagine in *i*; cioè l'immagine subisce una deviazione totale *di*. Rigorosamente parlando, avvi deviazione anche quando lo specchio gira lentamente, ma essa non è valutabile se non quando acquista una certa grandezza, il che richiede od una velocità di rotazione alquanto considerevole, od una distanza M*m* abbastanza grande; perchè la deviazione cresce necessariamente come il tempo che la luce impiega a retrocedere.

Nell'esperienza di Foucault, la distanza *m*M era soltanto di 4 metri, nel qual caso dando allo specchio *m* una velocità di 600 ad 800 giri per minuto secondo, si ottengono delle deviazioni di 2 a 3 decimi di millimetro.

[1] Facendo $Mm = l$, $Lm = l'$, $oL = r$, e rappresentando con n il numero dei giri per minuto secondo, con δ la deviazione assoluta di, e con V la velocità della luce, Foucault giunse alla formola

$$V = \frac{8\,\pi\; l^2 n r}{\delta\,(l + l')}.$$

La velocità trovata da Foucault è di 74 500 leghe da 4 000 metri.

L'apparato di Foucault serve ad esperimentare anche sui liquidi. Perciò, si interpone fra lo specchio girante *m* ed uno specchio concavo M′, identico allo specchio M, un tubo AB, lungo 3 metri e pieno d'acqua distillata. I raggi luminosi riflessi dallo specchio girante, nella direzione *m*M′, attraversano due volte la colonna d'acqua AB prima di ritornare sullo specchio V. Ora, il raggio retrocedente si riflette in *c* e produce l'immagine in *h*; adunque la deviazione è maggiore pei raggi che hanno attraversata l'acqua di quello che lo sia pei raggi che si propagarono soltanto nell'aria, il che indica che la velocità della luce è minore nell'acqua che nell'aria.

Questa conseguenza è la parte più importante dell'esperienza di Foucault. In fatti, avendo la teoria fatto conoscere come, nel sistema delle

ondulazioni, la velocità della luce sia minore nel mezzo più rifrangente, mentre il contrario accadrebbe secondo il sistema dell'emissione, il risultato ottenuto da Foucault dimostra che deve essere adottato esclusivamente il sistema delle ondulazioni.

Il meccanismo di cui Foucault si serve per imprimere allo specchio girante una grande velocità, consiste in una piccola turbina a vapore, la quale ha qualche rapporto colla sirena e, come essa, produce un suono tanto più acuto quanto più rapida è la rotazione. Dall'altezza del suono fornito dall'apparato si deduce la sua velocità di rotazione.

437. **Esperienza di Fizeau.** — Fizeau, nel 1849, ha misurato direttamente la velocità della luce, ricercando il tempo che occorreva perchè essa si propagasse da Suresnes a Montmartre e ritornare da Montmartre a Suresnes. L'apparecchio impiegato da questo scenziato consisteva in una ruota dentata, girante con maggiore o minore velocità, e della quale l'intervallo tra i denti era rigorosamente uguale alla loro grossezza. Codesta ruota e il meccanismo che lo moveva trovandosi a Suresnes, un fascio di luce parallelo passava tra due denti, e andava a riflettersi su di uno specchio posto a Montmartre. Là, il fascio diretto da un sistema di tubi e di lenti ritornava verso la ruota. Finchè questa era in riposo il fascio ripassava esattamente fra quegli stessi denti fra i quali era passato alla sua partenza; ma la ruota girando abbastanza rapidamente, un dente prendeva il posto di un intervallo, e il fascio che l'osservatore riceveva, attraverso un oculare, era intercettato. Facendola girare più velocemente, il fascio riappariva quando l'intervallo tra i due denti successivi aveva preso il posto del primo al momento del ritorno del fascio.

Dietro le dimensioni della ruota, la sua velocità di rotazione, la sua distanza dallo specchio riflettore, la quale era di 8 633 metri, Fizeau ha trovato che la velocità della luce è di 78 800 leghe di 4 000 metri, numero che differisce pochissimo da quello fornito dalle osservazioni dei fenomeni astronomici.

438. **Leggi dell'intensità della luce.** — Chiamando *intensità* di una luce la quantità che ne riceve ogni unità di superficie di un corpo illuminato, si trova che questa intensità è sottoposta alle due leggi seguenti:

1.ª *L'intensità della luce su di una data superficie è in ragione inversa del quadrato della distanza dalla sorgente luminosa.*

2.ª *L'intensità della luce ricevuta obbliquamente è proporzionale al coseno dell'angolo che fanno i raggi luminosi colla normale alla superficie rischiarata.*

Per dimostrare la prima di queste leggi, si abbiano due diaframmi circolari CD ed AB (fig. 289), collocati, l'uno ad una certa distanza da una sorgente luminosa L, e l'altro ad una distanza doppia; e si chiamino s ed L le aree dei due circoli. Rappresentando con a la quantità totale di luce emessa dalla sorgente, nella direzione ALB, l'intensità della luce sul diaframma CD, cioè la quantità di luce ricevuta da ogni unità di superficie del medesimo, è $\frac{a}{s}$; e l'intensità dell'illuminazione sul diaframma AB è $\frac{a}{S}$. Ora, a motivo della somiglianza dei triangoli ALB e CLD, il diametro AB è doppio di CD; per conseguenza, le aree dei

due circoli, essendo fra loro come i quadrati dei diametri, l'area L è quattro volte più grande di s. Adunque la intensità $\frac{a}{S}$ è un quarto di $\frac{a}{s}$, come si doveva dimostrare.

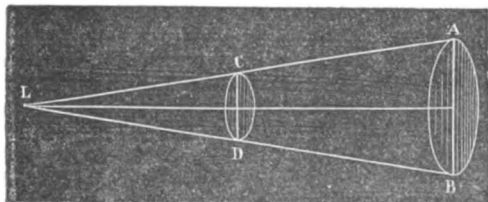



Fig. 289.

Questa prima legge si può dimostrare anche coll'esperienza, mediante l'apparato rappresentato dalla figura 291. Per ciò si paragonano le ombre portate sopra un vetro smerigliato da un'asta opaca illuminata dalla fiamma di una candela da una parte, e dall'altra da quattro collocate ad una distanza doppia della prima. Allora si trova che le due ombre portate sono della stessa intensità, il che dimostra la legge.

La figura 289 dimostra che la divergenza dei raggi luminosi emessi da una stessa sorgente fa sì che l'intensità della luce stia in ragione inversa dei quadrati delle distanze. Per raggi luminosi paralleli, l'intensità rimane costante, almeno nel vuoto; perchè nell'aria e negli altri mezzi trasparenti l'intensità della luce decresce per effetto di assorbimento (500), però in proporzione assai minore che non accada l'aumento dei quadrati delle distanze.

Quanto alla seconda legge dell'intensità, essa si dimostra col calcolo. Sia infatti un fascio di raggi paralleli DAEB (fig. 290), cadente obbliquamente su di una superficie AB, e sia *om* la normale a questa superficie. Rappresentando con S la sezione retta del fascio, con a la quantità totale di luce che cade sulla superficie AB, e con I quella che cade sull'unità di superficie, vale a dire l'intensità della luce, si ha $I = \frac{a}{AB}$ [1]. Ora, S essendo non altro che la proiezione di AB su un piano perpendicolare al fascio, si sa, in trigonometria che $S = AB \cos \alpha$; da cui $AB = \frac{S}{\cos \alpha}$. Ponendo questo valore di AB nella equazione [1] si ottiene $I = \frac{a}{S} \cos \alpha$ [2], formola che dimostra la *legge del coseno*, giacchè a ed S essendo quantità costanti, I varia proporzionalmente a $\cos \alpha$.

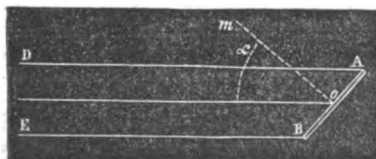



Fig. 290.

La legge del coseno si applica anche ai raggi emessi obbliquamente da una superficie luminosa, vale a dire che i raggi sono tanto meno intensi, quanto più sono inclinati alla superficie che li emette; ciò che accade anche per il calorico, come esprime appunto la terza legge del calorico irradiante (373).

439. **Fotometri.** — Chiamansi *fotometri* gli apparati che servono a paragonare le intensità relative di due luci. Se ne immaginarono moltis-

simi; ma tutti lasciano molto a desiderare sotto il rapporto della precisione.

Fotometro di Rumford. — Il fotometro di Rumford si compone di un diaframma di vetro smerigliato davanti al quale è fissata un'asta opaca *m* (fig. 291). Ad una certa distanza sono collocate le luci che si vogliono

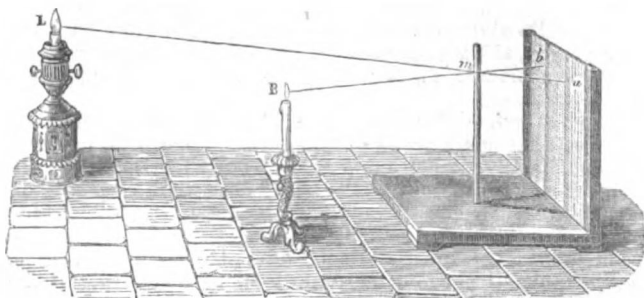



Fig. 291.

paragonare, per es., quella di una lucerna e quella di una candela, in modo che ciascuna di esse proietti sul diaframma un'ombra dell'asta. Le ombre proiettate sono dapprima di disuguale intensità; ma, allontanando la lucerna od avvicinandola a poco a poco, si trova una posizione in cui l'intensità delle due ombre *a* e *b* è uguale, ciò che indica essere il diaframma egualmente rischiarato dalle due luci. In tal caso *le intensità di queste due luci sono direttamente proporzionali ai quadrati delle loro distanze dalle ombre proiettate;* cioè se la lampada, per es., trovasi lontana 3 volte più della candela, essa rischiara 9 volte di più.

In fatti siano i ed i' le intensità della lucerna e della candela all'unità di distanza; d e d' le loro distanze rispettive dalle ombre proiettate. Dietro la prima legge dell'intensità della luce (438), l'intensità della lucerna, alla distanza d è $\frac{i}{d^2}$, e quella della candela alla distanza d' è $\frac{i'}{d'^2}$. Ora, sul diaframma, queste due intensità sono eguali; dunque si ha l'equazione $\frac{i}{d^2} = \frac{i'}{d'^2}$, d'onde $\frac{i}{i'} = \frac{d^2}{d'^2}$, come bisognava dimostrare.

Fotometro di Foucault. — Foucault ha perfezionato il fotometro di Rumford, osservando, non più le ombre portate da un corpo opaco interposto fra il diaframma e le luci da confrontarsi, ma il loro splendore diretto su di un diframma di carta inamidata, di cui ciascuna metà è rischiarata rispettivamente da una delle luci. Per ciò, il diaframma di carta forma la parete anteriore di una cassetta di legno, simile a quella del dagherrotipo, una tramezza opaca, perpendicolare a questo diaframma, separa i due fascetti proiettati dalle luci; di più, la tramezza essendo mobile, un rocchetto che imbocca una dentiera serve a farla avanzare od indietreggiare sino a che i due splendori sulla carta

inamidata divengano tangenti nel senso verticale. Allora non resta più che ad allontanare od avvicinare una delle due luci, fino a che le due metà del diaframma, vedute contro luce, presentino lo stesso splendore.

Il fotometro di Rumford e tutti quelli fondati sullo stesso principio presentano l'inconveniente che le due luci che si confrontano non posseggono la stessa tinta: l'una, per es., è gialla e l'altra azzurrastra, ciò che rende difficilissimo il confronto delle loro intensità. Tuttavia quando la differenza delle tinte non è troppo marcata, Foucault ha rimarcato che, se si guarda alcun poco fisso il diaframma ammicando le palpebre, arriva un momento in cui le due metà del diaframma sembrano della stessa tinta.

Fotometro di Govi. — Per correggere l'inconveniente suesposto, Govi a Firenze ha ultimamente proposto un nuovo fotometro da lui chiamato *fotometro analizzatore*, e nel quale il confronto non ha luogo che fra raggi della stessa rifrangibilità. Per ciò i fascetti provenienti da due luci da confrontarsi, prima di cadere su di un vetro smerigliato o sopra un diaframma di carta inamidata, attraversano un prisma che li decompone; dimodochè sul diaframma formansi due spettri di eguale lunghezza e tangenti pei loro margini (487). In questi spettri si paragonano poi fra di loro le parti che hanno la stessa tinta.

Fotometro di Wheatstone. — La parte principale di questo fotometro è una perla d'acciaio P (fig. 292), montata sul lembo di un disco di

Fig. 292.

Fig. 293.

sughero sostenuto da una ruota *o* che ingrana internamente con una ruota più grande. Quest'ultima è fissata su di una piccola scatola cilindrica di ottone che si tiene con una mano, intanto che coll'altra si fa girare una manovella A la quale trasmette il movimento ad un asse centrale, al raggio *a* ed alla ruota *o*. Siccome quest'ultima allora gira secondo il contorno interno della ruota grande e, nello stesso tempo, sopra sè stessa, la perla partecipa a questo doppio moto e descrive una curva conformata come quella rappresentata dalla fig. 293.

Ciò posto, siano M ed N due luci di cui vogliansi paragonare le intensità. Si colloca fra di esse il fotometro e lo si fa girare rapidamente. I punti brillanti prodotti dalla riflessione delle luci sopra due punti opposti della perla, danno origine a due strisce luminose disposte come mostra la figura 293. Se una di esse, per es., quella che proviene dalla luce M, è più intensa dell'altra, si avvicina lo strumento a quest'ultima fintanto che le due strisce presentino lo stesso splendore. Allora misurando la distanza del fotometro da ciascuna delle due luci, le loro intensità sono proporzionali ai quadrati delle distanze.

CAPITOLO II.

RIFLESSIONE DELLA LUCE, SPECCHI

440. Leggi della riflessione della luce. — Allorchè un raggio luminoso incontra una superficie levigata, si riflette secondo le seguenti leggi, che sono le stesse già esposte per la riflessione del calorico:

1.ª *L'angolo di riflessione è uguale all'angolo di incidenza.*

2.ª *Il raggio incidente ed il raggio riflesso sono in uno stesso piano perpendicolare alla superficie riflettente.*

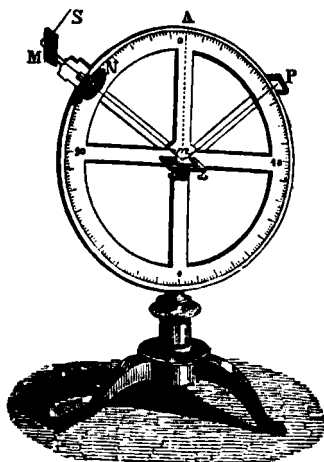
Le parole *raggio incidente*, *raggio riflesso*, *angolo d'incidenza* ed *angolo di riflessione* hanno lo stesso significato che loro abbiamo attribuito al paragrafo 378, per cui riteniamo inutile il definirle di nuovo.

Fig. 294 (a. = 48).

1.ª *Dimostrazione.* — Le due leggi suaccennate si dimostrano, nelle scuole, mediante l'apparato rappresentato dalla figura 294. È un cerchio graduato il di cui piano è verticale. Due regoli di ottone, mobili intorno al centro, portano, l'uno un diaframma di vetro smerigliato P, l'altro un diaframma opaco N, nel centro del quale è praticata una piccola apertura. All'estremità di quest'ultimo regolo avvi uno specchio M che può essere inclinato più o meno, restando sempre perpendicolare al piano del cerchio graduato. Finalmente, al centro di quest'ultimo trovasi un piccolo specchio piano *m*, di metallo che è esattamente orizzontale.

Ciò posto, per fare l'esperimento, si riceve un fascio di luce solare S sullo specchio M, il quale si inclina in modo che la luce riflessa attraversi il diaframma N e cada al centro dello specchio *m*. Ivi il fascio luminoso subisce una seconda riflessione e prende una direzione *m*P, che si determina facendo avanzare il diaframma P fintanto che l'immagine dell'apertura N si formi al suo centro. Leggendo allora sulla periferia i numeri dei gradi compresi negli archi AN ed AP, si osserva che questi numeri sono eguali: il che dimostra essere l'angolo di riflessione A*m*P eguale all'angolo d'incidenza A*m*M.

La seconda legge trovasi dimostrata dalla disposizione stessa dell'apparato, poichè il piano dei raggi M*m* e *m*P è parallelo al piano del cerchio graduato e, per conseguenza, perpendicolare allo specchio *m*.

2.ª *Dimostrazione.* — Si può dimostrare la prima legge della riflessione della luce anche coll'esperienza seguente, la quale dà risultati più precisi della precedente, ma è più difficile ad eseguirsi in una scuola. Si dispone verticalmente un cerchio graduato M (fig. 295), al centro del

quale è collocato un canocchiale mobile in un piano parallelo alla periferia; poi si colloca ad una conveniente distanza un piccolo vaso pieno

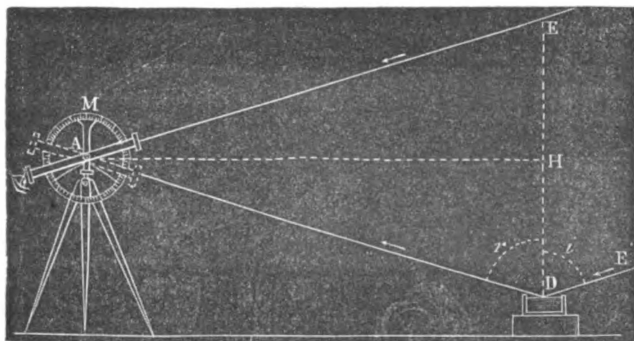



Fig. 295.

di mercurio, destinato a formare uno specchio piano esattamente orizzontale. Ciò posto, si guarda col canocchiale, secondo una direzione AE, una stella brillante di prima o di seconda grandezza; poi si inclina il canocchiale in modo di ricevere un raggio AD proveniente dalla medesima stella e riflesso in D dalla superficie lucente del mercurio. Per tal modo si trova che i due angoli formati dai raggi EA e DA, coll'orizzontale AH, sono eguali, dal che è facile il conchiudere che l'angolo d'incidenza E′DE è uguale all'angolo di riflessione EDA. In fatti se si conduce la normale DE, siccome questa retta è perpendicolare ad AH, il triangolo AED è isoscele, e gli angoli ADE ed AED sono eguali; ma poichè i raggi luminosi AE e DE′ sono paralleli a motivo della grande distanza della stella, gli angoli AED ed EDE′ sono eguali come alterno-interni; adunque EDE′ = EDA, come si volea dimostrare.

RIFLESSIONE DELLA LUCE SULLE SUPERFICIE PIANE

441. **Specchi, immagini.** — Chiamasi *specchio* qualunque corpo la cui superficie perfettamente levigata riflette regolarmente la luce riproducendo l'immagine degli oggetti che gli si mettono davanti. Secondo la loro forma, si distinguono gli specchi in *specchi piani*, *concavi*, *convessi*, *sferici*, *parabolici*, *conici*, ecc.

442. **Formazione delle immagini negli specchi piani.** — Siccome la determinazione della posizione e della grandezza delle immagini si riduce sempre alla ricerca delle immagini di una serie di punti, consideriamo dapprima un punto unico A situato davanti ad uno specchio piano MN (fig. 296). Un raggio qualunque AB, che parte da questo punto ed incontra lo specchio, si riflette secondo la direzione BO, facendo l'angolo di riflessione DBO eguale all'angolo di incidenza ABD.

Ciò posto, se si abbassa dal punto A, la AN perpendicolare allo specchio e si prolunga il raggio OB al disotto dello specchio fino ad incontrare questa perpendicolare nel punto *a*, si formano due trian-

goli ABM e B Na, che sono eguali, perchè hanno un lato comune BN, compreso fra due angoli eguali; infatti gli angoli ANB e BNa sono eguali perchè retti, e gli angoli ABN e NBa sono eguali fra loro perchè ambedue eguali all'angolo OBM. Dall'eguaglianza di questi triangoli risulta che aN è uguale ad AN, cioè che un raggio qualunque AB

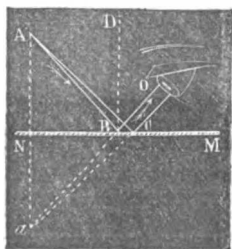



Fig. 296.

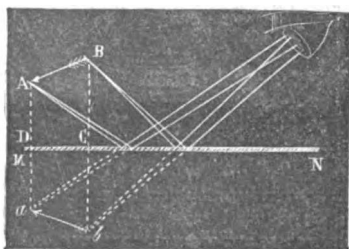



Fig. 297.

prende, dopo la riflessione, una direzione tale che il suo prolungamento al disotto dello specchio incontra la perpendicolare Aa in un punto a, distante dallo specchio precisamente come lo stesso punto A. Questa proprietà non essendo particolare al raggio AB, si applica a qualsiasi altro raggio AC partito dal punto A. Da ciò si deduce l'importante conseguenza che tutti i raggi emessi dal punto A e riflessi sullo specchio *seguono, dopo la loro riflessione, la stessa direzione come se fossero tutti partiti dal punto a.* Perciò l'occhio è ingannato e vede il punto A in a, come se vi fosse realmente. Adunque negli specchi piani *l'immagine di un punto si forma, dietro allo specchio, ad una distanza eguale a quella del punto dato e sulla perpendicolare condotta da questo punto allo specchio.*

È evidente che si otterrà l'immagine di un oggetto qualunque costruendo, dietro la regola suesposta, l'immagine di ciascuno de' suoi punti od almeno di quelli che bastano per determinare la posizione e la forma. La figura 297 mostra la costruzione che bisogna fare per ottenere l'immagine ab di un oggetto qualunque AB.

Da questa costruzione si deduce immediatamente che, negli specchi piani, *l'immagine ha la stessa grandezza dell'oggetto;* perchè se il trapezio ABCD si ribalta sul trapezio DCab, si vede facilmente che essi coincidono e l'oggetto AB si confonde colla sua immagine.

Dalla stessa costruzione risulta anche che, negli specchi piani, *l'immagine è simmetrica all'oggetto,* e *non capovolta,* applicando alla parola simmetrica lo stesso significato che le si dà in geometria, ove si chiamano simmetrici, rispetto ad un piano, due punti, quando sono situati sopra una stessa perpendicolare a questo piano e ad eguale distanza, l'uno da una parte del piano e l'altro dalla parte opposta: condizioni alle quali soddisfano tutti i diversi punti dell'oggetto AB e della sua immagine ab come mostra la figura 297.

443. Immagini virtuali ed immagini reali. — Relativamente alla direzione dei raggi riflessi dagli specchi, bisogna distinguere due casi, secondo che questi raggi dopo la riflessione sono divergenti o convergenti.

Nel primo caso, i raggi riflessi non si incontrano; ma se si immaginano prolungati al di là dello specchio, i loro prolungamenti concorrono in uno stesso punto, siccome mostrano le figure 296 e 297. L'occhio, essendo allora colpito come se i raggi fossero partiti da questo punto, vi scorge un'immagine. Ora questa non esiste realmente, perchè i raggi luminosi non passano al di là dello specchio; essa non è quindi prodotta che da un'illusione dell'occhio: epperò le si dà il nome di *immagine virtuale*, volendo con ciò indicare che essa tende a formarsi, ma che in realtà non si produce. Tali sono sempre le immagini fornite dagli specchi piani.

Nel secondo caso, in cui i raggi riflessi sono convergenti, come ce ne offriranno in seguito un esempio gli specchi concavi, questi raggi concorrono in un punto situato davanti allo specchio e dalla stessa parte dell'oggetto. Ivi formano un'immagine, alla quale si dà il nome di *immagine reale*, per esprimere che essa esiste realmente; infatti può essere ricevuta su di un diaframma ed agire chimicamente sopra certe sostanze. Insomma si può dire che *le immagini reali sono quelle che vengono formate dai medesimi raggi riflessi, e le virtuali, quelle che sono formate dai loro prolungamenti.*

444. **Immagini multiple negli specchi di vetro.** — Gli specchi metallici avendo una sola superficie riflettente producono una sola immagine; ma così non accade cogli specchi di vetro. Questi producono parecchie immagini che si scorgono facilmente osservando obbliquamente in uno specchio la fiamma di una candela. Si vede una prima immagine poco intensa, indi una seconda assai distinta, e dietro di questa se ne vedono parecchie altre la cui intensità diminuisce successivamente sino a diventar nulla.

Questo fenomeno è prodotto dalle due superficie riflettenti che presentano gli specchi di vetro. Allorchè i raggi luminosi partiti dal punto A (fig. 298) incontrano la prima superficie, una parte ne è riflessa e dà dal punto A la prima immagine *a*, formata dal prolungamento dei raggi *b*H riflessi da questa superficie; l'altra parte penetra nel vetro, si riflette in *c* sullo strato metallico che riveste la superficie posteriore dello specchio e ritorna all'occhio, nella direzione *d*E, formando l'immagine *a'*. Questa immagine, distante dalla prima del doppio della grossezza dello specchio, è più intensa perchè lo strato metallico che ricopre la seconda faccia dello specchio riflette meglio del vetro.

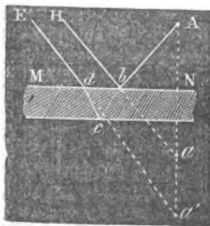



Fig. 298.

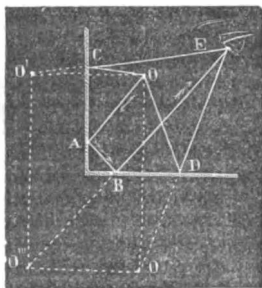
Quanto alle altre immagini che si producono, esse risultano da questo fatto generale, che ogni qualvolta un fascio di luce si presenta per passare da un mezzo in un altro, per esempio dall'aria nel vetro o dal vetro nell'aria, non passa mai tutto il fascio, ma solamente una parte di esso, l'altra essendo riflessa dalla superficie che separa i due mezzi. Per conseguenza quando il fascio *cd*, riflesso dalla superficie dello stagno, si presenta per uscire dal vetro in *d*, una parte si riflette interiormente sulla superficie MN, e ritorna verso lo strato di stagno che la rinvia di nuovo verso la faccia superiore. Là una porzione esce e dà una terza immagine, mentre l'altra porzione, ritornando verso lo strato di stagno, vi si riflette, e uscendo in parte dal

vetro per la faccia MN, dà una quarta immagine; e così di seguito fino a che, la luce indebolendosi gradatamente, le immagini cessano di essere visibili.

Siccome questa moltiplicità di immagini sarebbe dannosa alle osservazioni, non si adoprano negli strumenti di ottica che specchi metallici.

445. **Immagini multiple su due specchi piani inclinati.** — Quando un oggetto è situato fra due specchi piani che formino tra loro un angolo retto od acuto, si producono delle immagini di questo oggetto il cui numero aumenta colla inclinazione degli specchi. Se essi sono perpendicolari l'uno all'altro, si vedono tre immagini disposte come mostra la figura 299. I raggi OC e OD, partiti dal punto O, danno dopo una sola riflessione, uno l'immagine O' e l'altro l'immagine O; ed il raggio OA, il quale ha subìto due riflessioni in A ed in B, fornisce la terza immagine O'''.

Fig. 299.

Quando l'angolo degli specchi è di 60°, si formano 5 immagini; se è di 45° se ne producono 7. Il numero delle immagini continua così a crescere a misura che l'angolo degli specchi diminuisce, e quando è nullo, cioè quando gli specchi sono paralleli, il numero delle immagini proviene da questo che i raggi luminosi subiscono successivamente da uno specchio all'altro un numero di riflessioni sempre maggiore.

Su questa proprietà degli specchi inclinati è fondato il *caleidoscopio,* apparato che risulta di un tubo di cartone in cui trovansi due specchi inclinati tra loro di 45°, o tre specchi inclinati di 60°. Collocando ad una estremità, fra due lastre di vetro, l'esterno delle quali sia smerigliato, degli oggetti assai irregolari, come dei muschi, delle laminette di similoro, dei pezzi di merletto, e guardando per l'altra estremità, si vedono questi oggetti e le loro immagini disposte simmetricamente in modo da presentare un insieme assai svariato e spesse volte assai aggradevole.

446. **Immagini multiple su due specchi paralleli.** — Nel caso di due specchi paralleli, il numero delle immagini che si producono degli oggetti posti fra loro è teoricamente infinito. Fisicamente, questo numero è limitato, giacchè la luce incidente non riflettendosi mai in totalità, le immagini perdono di più in più della loro chiarezza, e finiscono per estinguersi affatto.

La figura 300 mostra come il fascio L*a*, riflesso una sola volta sullo specchio M, dia in I l'immagine dell'oggetto L, ad una distanza mI $= m$L; poi il fascio Lb riflesso una volta sullo specchio M, e una volta sullo specchio N, fornisce l'immagine I' ad una distanza nI' $= n$I; egualmente il fascio Lc, dopo due riflessioni su M e una su N, forma l'immagine I'' ad una distanza mI'' $= m$I'; e così di seguito fino all'infinito. Quanto alle immagini i, i', i'', esse sono formate nella stessa maniera dai raggi di luce che, partiti dall'oggetto L, cadono dapprima sullo specchio N.

447. **Riflessione irregolare.** — La riflessione che accade alla superficie dei corpi levigati, giusta le due leggi precedentemente enunciate

(440), si chiama *riflessione regolare o riflessione speculare.* Ma la quantità di luce così riflessa non rappresenta tutta la luce incidente. Questa, quando il corpo riflettente è opaco, si divide realmente in tre parti, una che è riflessa regolarmente, l'altra *irregolarmente,* cioè in tutte le direzioni, e la terza che è estinta, perchè assorbita dal corpo riflettente, come il calorico che diventa latente nei cambiamenti di stato. Inoltre, se il corpo che riceve i raggi incidenti è trasparente, avvi dippiù una quarta parte di luce la quale lo attraversa.

La luce riflessa irregolarmente si distingue col nome di *luce diffusa,* e per essa noi vediamo i corpi. Di fatti, la luce riflessa regolarmente non dà l'immagine del corpo che la riflette, ma bensì quella del corpo

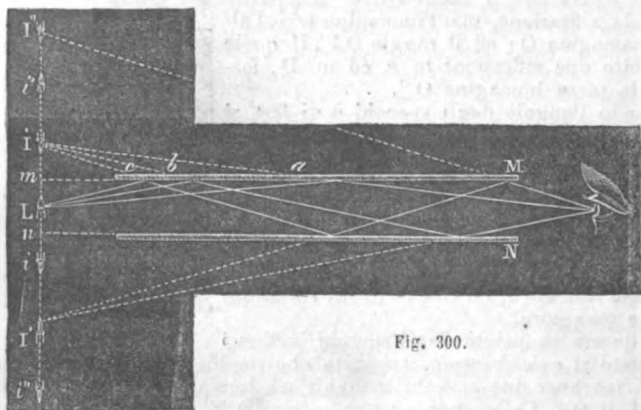



Fig. 300.

che la emette. Per es., se si riceve in una camera oscura un fascio di luce solare su di uno specchio ben terso, quanto più quest'ultimo riflette regolarmente la luce, e tanto meno è visibile nelle diverse parti dell'ambiente. L'occhio che riceve il fascio riflesso non vede lo specchio, ma soltanto l'immagine del sole. Diminuendo la facoltà riflettente dello specchio collo spargervi sopra una polvere leggera, la quantità di luce diffusa aumenta, l'immagine solare si indebolisce e lo specchio diventa più visibile in tutte le altre parti dell'ambiente.

448. Intensità della luce riflessa. — L'intensità della luce riflessa regolarmente da corpi della stessa sostanza aumenta al crescere del grado di levigatezza e dell'angolo che i raggi incidenti fanno colla normale alla superficie riflettente. Per es., guardando assai obbliquamente un foglio di carta bianca situato dinanzi alla fiamma di una candela, si vede per riflessione una immagine della fiamma; il che non avviene quando l'occhio riceve dei raggi meno obbliqui.

Per corpi di diversa natura, levigati allo stesso grado e sotto angoli di incidenza eguali, l'intensità varia colla sostanza ed anche col mezzo nel quale è immerso il corpo riflettente. Per es., il vetro liscio immerso nell'acqua perde una parte della sua facoltà riflettente.

RIFLESSIONE DELLA LUCE SULLE SUPERFICIE CURVE

449. Specchi sferici. — Abbiamo già detto (441) che si distinguono parecchie sorta di specchi curvi; quelli che si adoperano più di frequente sono gli specchi sferici e gli specchi parabolici.

Chiamansi *specchi sferici* quelli che hanno la curvatura sferica; si può supporre che la loro superficie sia generata dalla rotazione di un arco MN (fig. 301) intorno al raggio CA che congiunge il punto di

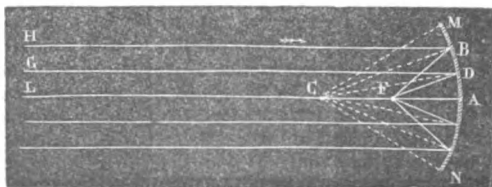



Fig. 301.

mezzo dell'arco col suo centro. Si dice poi che lo specchio è *concavo* o *convesso* secondo che la riflessione avviene sulla sua superficie interna o esterna. Chiamasi *centro di curvatura* o *centro geometrico* il centro C della sfera cava di cui lo specchio forma parte; il punto A è il *centro di figura*. La retta indefinita AL, che passa pei centri A e C, è l'*asse principale* dello specchio; tutte le rette che passano soltanto pel centro C, senza passare pel punto A, sono *assi secondari*. Chiamasi *apertura* di uno specchio l'angolo MCN formato dai raggi che congiungono il centro dello specchio co' suoi lembi. Finalmente si denomina *sezione principale* o *sezione meridiana* di uno specchio quella che si ottiene segandolo con un piano che passa per l'asse principale. In tutto ciò che diremo intorno agli specchi, avremo riguardo soltanto alle linee situate in una stessa sezione principale.

La teoria della riflessione della luce sugli specchi curvi si deduce assai facilmente dalle leggi della riflessione sugli specchi piani, considerando la superficie dei primi siccome risultante di un numero grandissimo di superficie piane infinitamente piccole che ne sono gli *elementi*. La *normale* alla superficie curva in un punto dato, è allora la perpendicolare all'elemento corrispondente, o, ciò che è lo stesso, al piano tangente che lo contiene. Ora si dimostra, in geometria, che negli specchi sferici tutte le normali passano pel centro di curvatura, per cui si può facilmente condurre la normale in un punto qualunque dello specchio sferico congiungendo questo punto col centro di curvatura mediante una retta.

450. Fochi negli specchi sferici concavi. — Negli specchi curvi chiamansi *fochi*, i punti in cui concorrono i raggi riflessi od i loro prolungamenti; distinguonsi quindi due sorta di fochi: i *fochi reali* ed i *fochi virtuali* (443). Negli specchi concavi, che studieremo pei primi, si osservano queste due sorta di fochi; ma i fuochi reali si distinguono in *foco principale* e in *foco coniugato*.

1.° *Foco principale.* — Il carattere distintivo del foco principale è di essere a posizione fissa, mentre quello del foco coniugato è varia-

bile. Per ottenere dapprima il foco principale, consideriamo un fascio di raggi luminosi paralleli all'asse principale, ciò che suppone il corpo rischiarante posto ad una distanza infinita, e sia GD uno di questi raggi (fig. 301). Secondo l'ipotesi ammessa più sopra, che gli specchi curvi sono formati da una serie di elementi piani infinitamente piccoli, questo raggio si riflette sull'elemento corrispondente al punto D secondo le leggi della riflessione sugli specchi piani (440); vale a dire che, CD essendo la normale al punto di incidenza D, l'angolo di riflessione CDF è uguale all'angolo di incidenza GDC e nella stessa sezione meridiana. Da ciò è facile conchiudere che il punto F, nel quale il raggio riflesso viene ad incontrare l'asse principale, divide molto prossimamente il raggio di curvatura AC in due parti eguali. Infatti nel triangolo DFC, i lati DF e CF sono eguali, come opposti ad angoli eguali, poichè gli angoli DCF e FDC sono ambedue uguali all'angolo CDG, il primo come alterno-interno, il secondo per conseguenza delle leggi di riflessione. D'altronde FD, è tanto più prossimamente eguale a FA, quanto più piccolo è l'arco AD. Si può dunque, quando quest'arco non è che di un piccolo numero di gradi, riguardare le rette AF e FC come sensibilmente eguali, e il punto F come il mezzo di AC. Finchè l'apertura MCN dello specchio non oltrepassa da 8 a 10 gradi, qualunque altro raggio HB, parallelo all'asse, viene così dopo la riflessione a passare molto prossimamente per il punto F. Si vede dunque che quando un fascio di raggi paralleli all'asse cade su di uno specchio concavo, *tutti i raggi*, dopo la riflessione, *vanno sensibilmente a concorrere in uno stesso punto situato ad eguale distanza dal centro di curvatura e dallo specchio*. È appunto codesto punto importante che si chiama il *foco principale* dello specchio, e la distanza FA di questo punto dallo specchio si dice la *distanza focale principale*.

Tutti i raggi paralleli all'asse concorrendo sensibilmente in uno stesso punto F, importa di osservare che, reciprocamente, se si pone in F un corpo luminoso, i raggi emessi da questo corpo prendono, dopo la riflessione, delle direzioni DG, BH,... paralleli all'asse principale: infatti, gli angoli di riflessione sono allora mutati in angoli di incidenza e quelli di incidenza in angoli di riflessione, ma codesti angoli restano sempre uguali.

2.° *Foco coniugato*. — Si consideri ora il caso in cui i raggi luminosi che cadono sullo specchio siano emessi da un punto L (fig. 302)

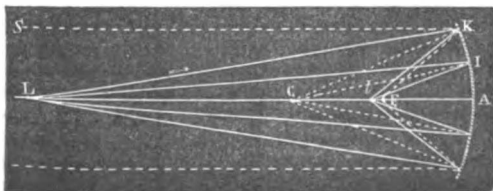



Fig. 302.

situato sull'asse principale, ad una distanza tale che i raggi incidenti non siano più paralleli ma divergenti. Siccome in questo caso il raggio incidente LK fa colla normale CK un angolo d'incidenza LKC

più piccolo dell'angolo SKC, che fa colla stessa normale il raggio SK parallelo all'asse, l'angolo di riflessione corrispondente al raggio LK dovrà anche essere più piccolo dell'angolo CKF corrispondente al raggio SK. Per ciò, il raggio LK, dopo la riflessione, dovrà incontrare l'asse in un punto *l* situato fra il centro C ed il foco principale F. Fintanto che l'apertura dello specchio non sorpassa un piccolo numero di gradi, tutti i raggi emessi dal punto L, in seguito alla riflessione, concorrono sensibilmente allo stesso punto *l*. Questo punto chiamasi *foco coniugato* del punto L, per indicare il rapporto esistente fra i punti L ed *l*, rapporto tale per cui sono reciproci l'uno dell'altro; cioè, se il punto luminoso fosse trasportato in *l*, il suo foco coniugato lo sarebbe in L, poichè allora *l*K diverrebbe il raggio incidente e KL il raggio riflesso.

Per dimostrare che i raggi partiti dal punto L e riflessi sullo specchio vanno molto prossimamente a concorrere in *l*, osserviamo che nel triangolo LK*l*, la retta CK essendo la bisecatrice dell'angolo K, si ha, dietro un teorema di geometria conosciuto, $\frac{LK}{Kl} = \frac{LC}{Cl}$ [1]. D'altronde, l'apertura dello specchio essendo supposta di un piccolo numero di gradi, LK è sensibilmente uguale a LA, e *l*K ad *l*A. L'equazione [1] può dunque essere sostituita da $\frac{LA}{lA} = \frac{LC}{Cl}$, e quest'ultima può mettersi sotto la forma $\frac{LA}{LC} = \frac{lA}{Cl}$ [2]. Ora la equazione [2] sussiste per tutti i raggi partiti dal punto L, e il rapporto $\frac{LA}{LC}$ è costante finchè la distanza LA è la stessa. Dunque il rapporto $\frac{lA}{Cl}$ è esso pure costante; ciò che non può realizzarsi se non a condizione che tutti i raggi riflessi concorrano in *l*. Infatti, per qualunque raggio che incontrasse l'asse più lontano o più vicino al centro che non sia il punto *l*, i due termini *l*A e C*l*, variando in senso contrario, il rapporto $\frac{lA}{Cl}$ non sarebbe più costante.

Esaminando la figura 302 si riconosce facilmente che allorquando l'oggetto L si avvicina o si allontana dal centro C, il suo foco coniugato se ne avvicina o se ne allontana anch'esso; perchè gli angoli di incidenza e di riflessione crescono o decrescono insieme.

Quando l'oggetto L coincide col centro C, l'angolo di incidenza è nullo, e siccome altrettanto deve accadere dell'angolo di riflessione, il raggio riflesso ritorna sopra sè stesso ed il foco coincide coll'oggetto. Quando l'oggetto luminoso passa al di là del centro C, fra questo punto ed il foco principale, il foco coniugato passa alla sua volta dall'altro lato del centro, e se ne allontana a misura che il punto luminoso si avvicina al foco principale. Se il punto luminoso coincide col foco principale, i raggi riflessi essendo paralleli all'asse, non si incontrano più, e per conseguenza il foco coniugato si forma a distanza infinita, cioè non esiste più.

3.° *Foco virtuale.* — Si consideri ora il caso in cui l'oggetto trovisi collocato in L (fig. 303) tra il foco principale e lo specchio. Allora un raggio qualsiasi LM, emesso dal punto L, fa colla normale CM un angolo di incidenza LMC più grande di FMC; per ciò l'angolo di riflessione deve essere più grande dell'angolo CMS. Ne segue che il raggio riflesso ME è divergente relativamente all'asse AK, siccome avviene

altrettanto per tutti i raggi emessi dal punto L, questi raggi non si incontrano e quindi non formano alcun foco coniugato; ma se si im-

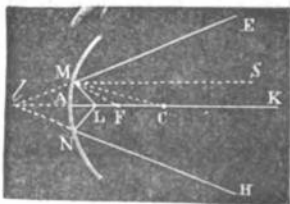



Fig. 303.

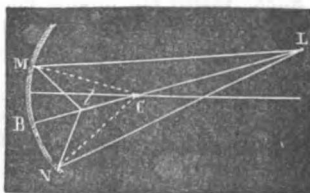



Fig. 304.

maginano prolungati al di là dello specchio, i loro prolungamenti vanno a concorrere sensibilmente in uno stesso punto *l* situato sull'asse; di maniera che l'occhio, ricevendoli, prova la stessa impressione come se questi raggi fossero emessi dal punto *l*. Perciò, si produce in questo punto un *foco virtuale* affatto analogo a quello che presentano gli specchi piani (443).

Nei differenti casi che abbiamo considerati bisogna notare che la posizione del foco principale è costante e che, invece, quelle del foco coniugato e del foco virtuale sono variabili. Inoltre, *il foco principale ed il foco coniugato sono sempre situati dallo stesso lato dell'oggetto relativamente allo specchio*, mentre all'opposto, *il foco virtuale è sempre situato dall'altro lato dello specchio.*

4.° *Foco coniugato su un asse secondario.* — Fino ad ora abbiamo supposto che il punto luminoso fosse situato sull'asse principale, nel qual caso il foco si forma su di quest'asse; quando il punto luminoso fosse situato su di un asse secondario LB (fig. 304), estendendo a quest'asse gli stessi ragionamenti che abbiamo applicati all'asse principale, si riconoscerebbe che il foco del punto L si forma in un punto *l* situato sull'asse secondario e che, a seconda della distanza del punto L dallo specchio, questo foco può essere un foco principale, coniugato o virtuale.

451. **Determinazione dei fochi negli specchi concavi.** — *Foco principale.* — Per trovare sperimentalmente il foco principale di uno specchio concavo, si riceve su di esso un fascio di raggi solari, avendo cura di inclinare lo specchio in modo che il suo asse principale sia parallelo al fascio; poi, col riceverli su di un piccolo schermo di carta o di vetro smerigliato, si cerca il luogo in cui l'immagine mostra maggiore chiarezza e maggior nettezza; là è il foco principale. Misurando la distanza di questo punto dallo specchio e raddoppiandola, si ha il raggio di curvatura.

Se è graficamente che si vuol determinare la posizione del foco principale di uno specchio concavo la cui sezione meridiana è data, si determina il centro di curvatura di questa sezione colla costruzione che serve in geometria a trovare il centro di un arco; poi congiungendo questo centro di curvatura col centro di figura dello specchio mediante una retta, il punto di mezzo di quest'ultima è il foco principale (450, 1.°).

Foco coniugato. — Un punto luminoso essendo posto davanti ad uno specchio concavo, al di là del foco principale, il suo foco coniugato si determina sperimentalmente nello stesso modo che si è veduto di

sopra per il foco principale. Quanto alla determinazione grafica, si può ottenerla colle due costruzioni seguenti:

1.° Il centro di curvatura dello specchio essendo conosciuto, sia L il punto luminoso o rischiarato di cui si cerca il foco coniugato (fig. 305).

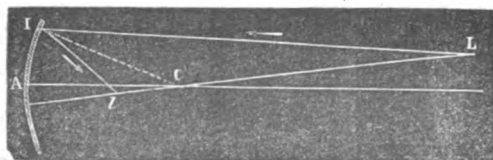



Fig. 305.

Conduciamo dapprima l'asse secondario LC*l*, e osserviamo, una volta per tutte, che qualunque asse secondario, come l'asse principale, *rappresenta sempre un raggio luminoso incidente*, ma un raggio che si confonde colla normale e, per conseguenza, col raggio riflesso. Ciò posto, se si conduce dal punto L un raggio incidente qualunque LI, e che si conduca al punto di incidenza la normale CI, l'angolo CIL è l'angolo di incidenza corrispondente al raggio LI. Se dunque si fa dall'altro lato della normale l'angolo CI*l* eguale a CIL, I*l* è il raggio riflesso, e il punto *l*, dove esso incontra l'asse secondario, è il foco coniugato dal punto L; giacchè si dimostrerebbe nello stesso modo che si è già veduto per l'asse principale (450, 2.°), che tutti i raggi partiti dal punto L vanno molto prossimamente a concorrere in *l*.

2.° Invece di condurre dal punto L un raggio incidente qualunque, se si conduce un raggio LI parallelo all'asse principale (fig. 306), si

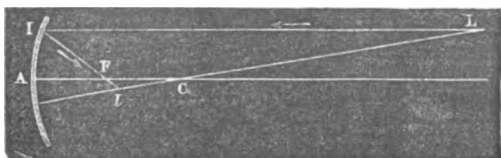



Fig. 306.

sa (450, 1.°) che il raggio riflesso dovrà passare per il foco principale F. Dunque la direzione di questo raggio è immediatamente determinata, e per conseguenza il foco *l*. Reciprocamente se il punto luminoso L fosse tra il foco principale e il centro (fig. 307), la stessa costruzione farebbe trovare il foco *l*. Infatti, conducendo dapprima l'asse secondario CD, poi il raggio LI parallelo all'asse principale, il raggio riflesso passa per il foco principale F, e il suo prolungamento va a tagliare l'asse secondario in un punto *l* che è il foco coniugato che si cerca.

Questo secondo modo di costruzione che consiste a prendere un raggio incidente parallelo all'asse principale, invece di un raggio qualunque, è più semplice; ma è meno generale, giacchè non risponde che ad un caso particolare. Se dal punto L si facessero partire più raggi

incidenti, bisognerebbe di necessità ricorrere alla costruzione della figura 305. Lo stesso avviene in più casi della costruzione delle immagini negli istrumenti di ottica che verranno trattati più tardi.

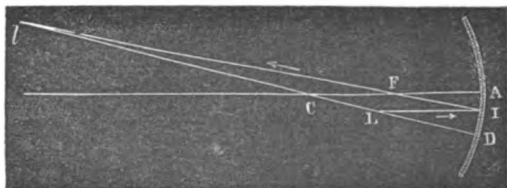



Fig. 307.

Foco virtuale. — I due modi di costruzione che precedono si applicano egualmente al foco virtuale, come mostrano le figure 308 e 309. Nella prima, avendo condotto l'asse secondario LC, che si ha cura di prolungare dall'altro lato dello specchio, poichè si sa che è appunto là che si troverà il foco virtuale (450, 3.° e 4.°), si conduce un raggio

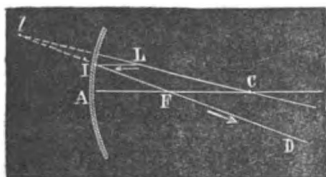



Fig. 308.

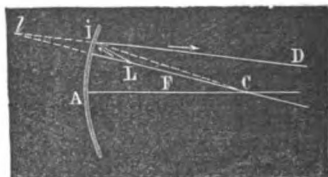



Fig. 309.

incidente qualunque LI, poi la normale IC; facendo in seguito l'angolo di riflessione CID eguale a CIL, il prolongamento di ID va a tagliare l'asse secondario in un punto *l*, che è il foco virtuale di L.

Nella seconda costruzione (fig. 309), il raggio incidente LI, essendo parallelo all'asse principale, il raggio riflesso passa per il foco principale F, e FI prolongato dietro allo specchio dà lo stesso foco virtuale *l* come più sopra.

452. Costruzione delle immagini reali negli specchi concavi. — Fin qui si è supposto che l'oggetto luminoso o rischiarato, posto davanti gli specchi, fosse semplicemente un punto; ma se quest'oggetto ha una certa estensione, si può concepire per ciascun de' suoi punti un asse secondario, e determinare così una serie di fochi reali o virtuali, il cui insieme comporrà l'immagine reale o virtuale dell'oggetto. È la posizione e la grandezza di queste immagini che noi impareremo ora a determinare negli specchi concavi dapprima, fondandoci sulle costruzioni testè date per i fochi reali e virtuali (451).

Sia dapprima il caso in cui l'oggetto AB, di cui si cerca l'immagine, è posto al di là del centro (fig. 310). La costruzione di questa immagine si riduce a quella dei fochi coniugati di diversi punti dell'oggetto AB. Ma si limita a determinare i fochi dei punti estremi A e B. Perciò, si conducono dapprima gli assi secondari AE e BI di questi

punti; poi, conducendo un raggio incidente qualunque AD, non parallelo all'asse principale, come si è già veduto più sopra (fig. 305), si conduce la normale CD dal punto di incidenza. Facendo finalmente l'angolo di riflessione CD*a* eguale all'angolo di incidenza ADC, il

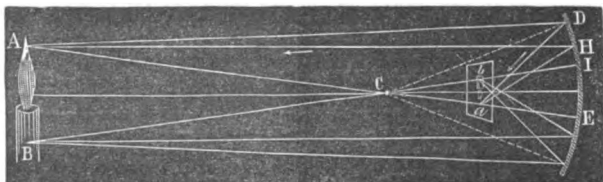



Fig. 310.

punto *a*, in cui il raggio riflesso interseca l'asse secondario AE, è il foco coniugato del punto A, o, ciò che vale lo stesso, la sua immagine; giacchè qualunque altro raggio AH, emesso dal punto A, viene esso pure, dopo la riflessione a passare per *a*. La stessa costruzione applicata al punto B fa vedere che tutti i raggi incidenti emessi da questo punto vanno, dopo la riflessione, a concorrere in *b*, e a formarvi l'immagine di B. Si ha dunque in *ab* l'immagine di AB.

Se, invece di considerare un raggio incidente qualunque, si fa uso della costruzione data nella figura 306, vale a dire se si prendono i raggi incidenti paralleli all'asse principale, l'immagine si determina allora come mostra la figura 311. I raggi parelleli AD e BG vanno,

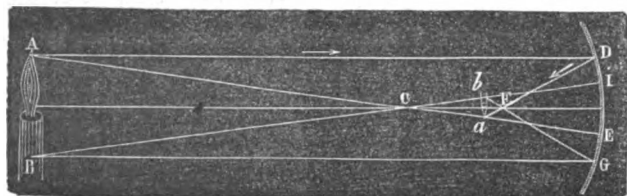



Fig. 311.

dopo di essersi riflessi, a passare tutti e due per il foco principale F, e intersecando gli assi secondari dei punti A e B, in *a* e in *b*, essi danno la stessa immagine *ab* come nella figura 310.

Qualunque sia quella di queste due costruzioni che si applica, l'*immagine* ab *è reale*, *rovesciata*, *posta tra il centro di curvatura e il foco principale, e tanto più piccola quanto più l'oggetto è lontano.*

Si può vedere questa immagine in due maniere: o ponendo l'occhio sul prolungamento dei raggi riflessi, ed in questo caso è una immagine aerea che si scorge; oppure si ricevono i raggi su di uno schermo che riflette la luce in tutte le direzioni e la dirige verso l'occhio.

Reciprocamente, se l'oggetto luminoso o rischiarato di cui si cerca l'immagine è posto in *ab* (fig. 310 e 311), tra il foco principale e il centro, la sua immagine si forma in AB. Essa è ancora reale e rove-

sciata, ma più grande dell'oggetto e *tanto più grande quanto più l'oggetto ab è più vicino al fuoco*.

Se l'oggetto è posto nel foco principale, non si produce veruna immagine; poichè in tal caso i raggi emessi da ciascun punto formano dopo la riflessione, altrettanti fasci rispettivamente paralleli all'asse secondario condotto dal punto dal quale sono emessi (450), e per conseguenza non possono produrre nè fochi nè immagini.

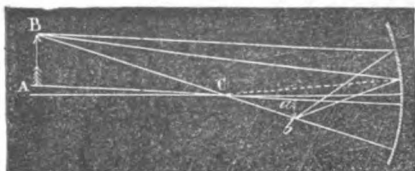



Fig. 312.

Finalmente, se l'oggetto AB ha tutti i suoi punti fuori dell'asse principale (fig. 312), si trova facilmente, ripetendo una delle due costruzioni che precedono, che l'immagine si produce in *ab*, dall'altro lato dell'asse.

453. **Costruzione delle immagini virtuali negli specchi concavi.** — Si è veduto che non v'ha foco virtuale negli specchi concavi se non se quando i raggi partono da un punto situato tra il foco principale e lo specchio (450, 3.°); è in questa posizione che deve essere l'oggetto di cui si cerca l'immagine virtuale. Ciò posto le due costruzioni che sono state date di sopra per trovare le immagini reali, si applicano esattamente alle immagini virtuali.

1.° L'oggetto AB (fig. 313) essendo collocato tra lo specchio e il foco, siano condotti gli assi secondari C*A*a e CB*b*, poi un raggio incidente qualunque AD e finalmente la normale CD. Costruendo l'angolo CDI eguale a CDA, si ha il raggio riflesso DI che è divergente

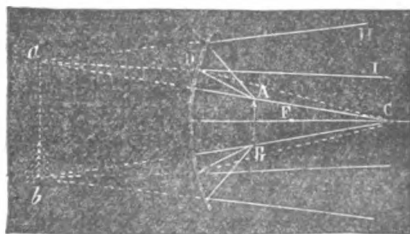



Fig. 313.

per riguardo all'asse secondario C*a*. Egualmente, un altro raggio incidente AK, dando il raggio riflesso KH, il fascio riflesso IDKH è divergente, e l'occhio lo riceve come se fosse emesso dal punto *a*. È dunque in *a* che si vede l'immagine virtuale di A. L'immagine di B for-

mandosi nella stessa maniera in *b*, si ha in *ab* l'immagine di AB. *Questa immagine è virtuale, diretta, più grande dell'oggetto e situata dietro lo specchio.*

2.° Oppure, considerando un raggio AD parallelo all'asse principale (fig. 314), questo raggio, dopo di essersi riflesso sullo specchio, va a passare per il foco principale F, e il suo prolungamento va a tagliare

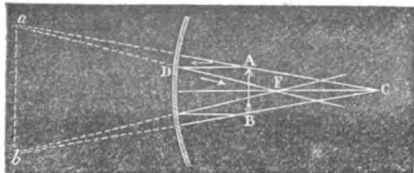



Fig. 314.

l'asse secondario condotto dal punto A in un punto *a*, che è il foco virtuale di A. Quello di B formandosi nello stesso modo in *b*, si ha in *ab* la stessa immagine virtuale che abbiamo costrutta di sopra.

454. **Specchi convessi, loro fochi.** — Negli specchi convessi non vi sono che fochi virtuali. Siano, infatti, dei raggi SI, TK,... (fig. 315), paralleli all'asse principale di uno specchio convesso. Questi raggi, dopo

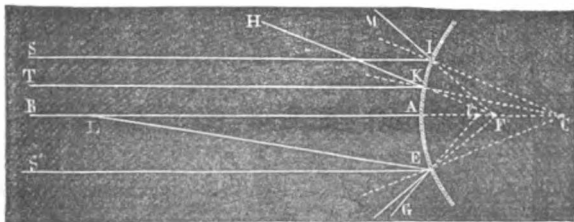



Fig. 315.

la loro riflessione, prendono direzioni divergenti IM, KH,.... che prolungate vanno a concorrere in un punto F che è il *foco virtuale principale* dello specchio Mediante il triangolo CKF, si dimostrerebbe, nello stesso modo che negli specchi concavi, essere il punto F il punto di mezzo del raggio di curvatura CA.

Se i raggi luminosi incidenti, invece di essere paralleli all'asse, partono da un punto L situato sull'asse ad una distanza finita, si riconoscerebbe facilmente che il foco è ancora virtuale, ma viene a farsi in *l*, tra il foco principale F e lo specchio.

455. **Determinazione del foco principale negli specchi convessi.** — Onde trovare sperimentalmente il foco virtuale principale di uno specchio convesso, lo si ricopre di carta, avendo cura di riservare in quest' ultima, ad eguali distanze dal centro di figura A e in uno stesso piano meridiano (fig. 316), due piccole aperture circolari in H e in I che lascino lo specchio a nudo. Si dispone in seguito, davanti lo specchio,

uno schermo MN, forato nel suo centro da un'apertura circolare maggiore della distanza HI. Se si riceve, in tal caso, sullo specchio un fascio di raggi solari SH, S'I, paralleli all'asse, la luce si riflette in H e in I,

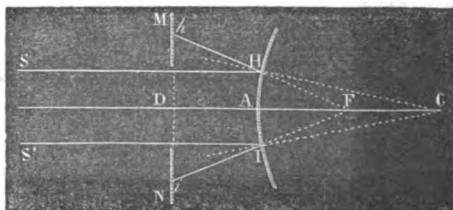



Fig. 316.

sulle parti dove lo specchio è scoperto, e va a formare sullo schermo due immagini brillanti in *h* e in *i*. Allontanando lo schermo MN, o avvicinandolo, si trova una posizione nella quale l'intervallo *hi* è doppio di HI. La distanza AD dello schermo dallo specchio rappresenta allora la distanza focale principale. Infatti, l'arco HAI confondendosi sensibilmente colla sua corda, e i triangoli FHI e F*hi* essendo simili, si ha $\frac{HI}{hi} = \frac{FA}{FD}$; ma HI è la metà di *hi*, dunque FA eguaglia essa pure la metà di FD. Per conseguenza, AD eguale AF; d'altronde, FA è la distanza focale principale, poichè i raggi SH e S'I sono paralleli all'asse; il doppio di AD rappresenta dunque il raggio di curvatura dello specchio.

456. Formazione delle immagini negli specchi convessi. — Sia un oggetto AB (fig. 317) posto davanti uno specchio convesso, ad una distanza qualunque. Se si conducono gli assi secondari AC e BC, consegue da quanto si è già detto (454) sulla costruzione dei fochi, negli specchi convessi, che tutti i raggi emessi dal punto A sono divergenti dopo la riflessione, e che i loro prolungamenti vanno a concorrere

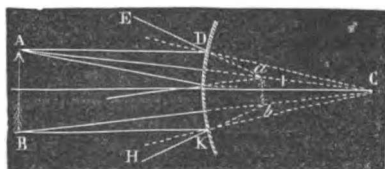



Fig. 317.

in un punto *a* che è l'immagine virtuale del punto A. Egualmente, i raggi emessi dal punto B vanno a formare in *b* una immagine virtuale di questo punto. L'occhio che riceve i raggi divergenti DE, KH,... vede dunque in *ab* una immagine di AB. Risulta da questa costruzione che, qualunque sia la posizione di un oggetto davanti uno spec-

chio convesso, l'*immagine è sempre virtuale, diretta e più piccola dell'oggetto.*

Si può anche far uso della seconda costruzione che è stata data per gli specchi concavi (fig. 311): vale a dire, invece di considerare un raggio incidente qualunque, prenderne uno parallelo all'asse principale; ciò che dà immediatamente la direzione del raggio riflesso, poichè quest'ultimo, prolungato, deve allora passare per il foco principale.

457. **Formole relative agli specchi sferici.** — Con una formola semplicissima si può rappresentare la relazione che passa fra la posizione relativa di un oggetto e quella della sua immagine negli specchi sferici. Per ciò suppongasi dapprima che lo specchio sia concavo, e si rappresenti con R il suo raggio di curvatura, con p la distanza LA dell'oggetto L (fig. 318) dallo specchio, e con p' la distanza lA dell'immagine dallo

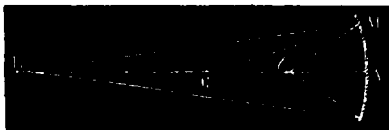



Fig. 318.

specchio medesimo. Siccome nel triangolo LMl, la normale MC divide l'angolo LMl in due parti eguali, si può applicare il teorema di geometria che in qualunque triangolo la bissettrice di un angolo divide il lato opposto in due segmenti i quali stanno fra loro come i due lati dell'angolo; cioè che

$$\frac{Cl}{CL} = \frac{lM}{LM}, \text{ d'onde } Cl \times LM = CL \times lM.$$

Ora, se l'arco AM non supera 5 a 6 gradi, le linee ML ed Ml sono sensibilmente eguali ad AL ed Al, cioè a p e a p'. D'altronde

$$Cl = CA - Al = R - p', \text{ e } CL = AL - AC = p - R.$$

Sostituendo questi valori nell'eguaglianza precedente, si ha

$$(R - p')\,p = (p - R)\,p', \text{ ossia } Rp - pp' = pp'\,R - Rp';$$

trasportando e riducendo, si trova

$$Rp + Rp' = 2pp' \quad [1].$$

Se si dividono tutti i termini di questa eguaglianza per pp'R, e si sopprimono i fattori comuni, essa prende la forma

$$\frac{1}{p'} + \frac{1}{p} = \frac{2}{R} \quad [2],$$

sotto la quale la si considera ordinariamente.

Risolvendo l'equazione [1] relativamente a p', se ne deduce

$$p' = \frac{pR}{2p - R} \quad [3],$$

formola che fa conoscere la distanza dell'immagine dallo specchio, quando sia nota quella dell'oggetto ed il raggio di curvatura.

458. **Discussione della formola degli specchi.** — Cerchiamo ora i differenti valori che assume p', secondo quelli che si danno a p nella formola [3].

1.° L'oggetto luminoso o rischiarato trovisi dapprima sull'asse ad una distanza infinita, nel qual caso i raggi incidenti sono paralleli. Per interpretare il valore che prende allora p', bisogna dividere per p i due termini della frazione $\frac{pR}{2p - R}$, il che dà

$$p' = \frac{R}{2 - \frac{R}{p}} \quad [4].$$

Ora, introducendo in questa formola la condizione che p sia infinito, la frazione $\frac{R}{p}$ diventa nulla, e si ha $p' = \frac{R}{2}$; cioè l'immagine si produce al foco principale; come doveva accadere, perchè i raggi incidenti formano allora un fascio parallelo all'asse.

2.° Se l'oggetto si avvicina allo specchio, p decresce, e diminuendo il denominatore della formola [4], aumenta il valore di p'; per conseguenza l'immagine si avvicina al centro del pari che l'oggetto, ma è sempre situata tra il foco principale ed il centro, perchè fintanto che p è $> R$, si ha

$$\frac{R}{2 - \frac{R}{p}} > \frac{R}{2} \text{ e } < R.$$

3.° Se l'oggetto coincide col centro, il che si esprime facendo $p = R$, diventa $p' = R$, cioè l'immagine coincide coll'oggetto.

4.° Se l'oggetto luminoso trovasi fra il centro ed il foco principale si ha $p < R$, e si conchiude dalla formola [4] che p' è $> R$; cioè che allora l'immagine si forma al di là del centro. Quando l'oggetto è giunto al foco principale, si ha

$$p = \frac{R}{2}, \text{ il che dà } p' = \frac{R}{0} = \infty;$$

cioè l'immagine si produce a distanza infinita. Infatti, i raggi riflessi sono allora paralleli all'asse.

5.° Finalmente, se l'oggetto è tra il foco principale e lo specchio, si ha $p < \frac{R}{2}$; il denominatore della formola [4] essendo allora negativo, è negativo anche p'; cioè la distanza p' fra l'immagine e lo specchio devesi prendere sull'asse in senso contrario di p. Di fatti, l'immagine è allora virtuale e situata dall'altro lato dello specchio (450).

Introducendo nella formola [2] la condizione che p' sia negativo, questa formola diventa $\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{2}{R}$; sotto questa forma comprende il caso delle immagini virtuali negli specchi concavi.

Trattandosi di specchi convessi, siccome l'immagine è sempre virtuale (436), p' e R sono dello stesso segno, poichè l'immagine ed il centro sono situati dalla stessa parte dello specchio, mentre che l'oggetto essendo dall'altra, p è di segno contrario; introducendo questa condizione nella formola [2], si trova $\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{2}{R}$ [5], formola relativa agli specchi convessi. Del resto si potrebbe trovarla direttamente colle stesse considerazioni geometriche che ci hanno condotto alla formola [2] degli specchi concavi.

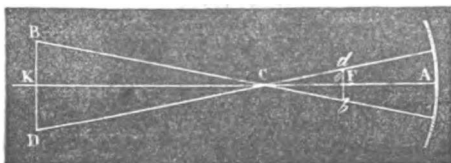



Fig. 319.

Bisogna però notare che le differenti formole suesposte non sono rigorosamente esatte, poichè si appoggiano sulla ipotesi che le rette LM ed IM (fig. 318) siano eguali ad LA

ed *lA*, il che è vero soltanto quando l'angolo MCA è nullo; ma queste formole si accostano tanto più all'esattezza, quanto più piccola è l'apertura dello specchio.

459. **Calcolo della grandezza delle immagini.** — Per mezzo delle formole precedenti si può facilmente calcolare la grandezza di un'immagine quando si conoscano la distanza dell'oggetto, la sua grandezza ed il raggio dello specchio. Di fatti, se si rappresenta l'oggetto con BD (fig. 319), la sua immagine con *bd*, e se si suppone conosciuta la distanza KA ed il raggio AC, si calcola A*o*, mediante la formola [3] del paragrafo 457. Conosciuta A*o*, se ne deduce *o*C. Ora, siccome i due triangoli BCD e *d*C*b* sono simili, si ha tra le loro basi e le loro altezze la proporzione

$$\frac{bd}{\mathrm{BD}} = \frac{\mathrm{C}o}{\mathrm{CK}},$$

d'onde si deduce la grandezza *bd* dell'immagine.

460. **Aberrazione di sfericità, caustiche.** — Nella teoria ora esposta intorno ai fochi ed alle immagini negli specchi sferici, abbiamo già notato che i raggi riflessi non vanno sensibilmente a concorrere verso un unico punto se non quando l'apertura dello specchio non sorpassa 8° a 10° (450). Per una apertura più grande i raggi riflessi vicino ai lembi incontrano l'asse a minor distanza dallo specchio di quelli che sono riflessi presso al centro di curvatura. Da ciò risulta, nelle immagini, una mancanza di chiarezza che si indica col nome di *aberrazione di sfericità per riflessione,* onde distinguerla dalla aberrazione di sfericità per rifrazione che presentano le lenti (485).

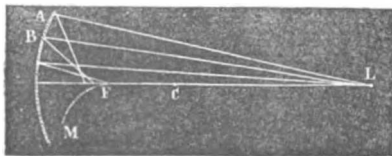



Fig. 320.

Siccome i raggi riflessi si tagliano successivamente a due a due, come vedesi al disopra dell'asse FL (fig. 320), così i loro punti di intersezione formano nello spazio una superficie brillante che si chiama *caustica per riflessione*. La curva FM rappresenta uno dei rami della sezione meridiana di questa superficie.

461. **Applicazione degli specchi.** — Si conoscono le applicazioni degli specchi piani nell'economia domestica. Questi specchi sono anche di uso frequente in molti apparati di fisica allo scopo di dare alla luce una direzione determinata. Se si vuole per tal modo dirigere la luce solare, si può conservare ai raggi riflessi una direzione costante soltanto nel caso che lo specchio sia mobile. Bisogna allora imprimere a quest'ultimo un movimento, il quale compensi il cambiamento di direzione che assumono continuamente i raggi incidenti dipendentemente dal moto diurno apparente del sole. Si ottiene questo risultato con un movimento di orologeria, il quale fa variare l'inclinazione dello specchio per mezzo di un'asta a cui quest'ultimo trovasi fissato. L'apparato così costrutto chiamasi *eliostato.* La riflessione della luce venne utilizzata anche per misurare gli angoli dei cristalli con una grande precisione, per mezzo di strumenti conosciuti sotto il nome di *goniometri a riflessione.*

Anche gli specchi concavi ricevettero numerose applicazioni. Si adoperano per avere una immagine più grande dell'oggetto; tali sono gli specchi che taluni adoperano per radersi la barba. Abbiamo già veduto l'uso che se ne può fare come specchi ustorii (380); sono anche usati nei telescopi. Finalmente gli specchi concavi possono anche servire come riflettori per ispingere la luce a grandi distanze, collocando una sorgente di luce nel loro foco principale; ma per questo uso si devono preferire gli specchi parabolici.

462. **Specchi parabolici.** — Gli *specchi parabolici* sono specchi concavi la cui superficie è quella generata dalla rotazione di un arco di parabola AM attorno al suo asse AX (fig 321).

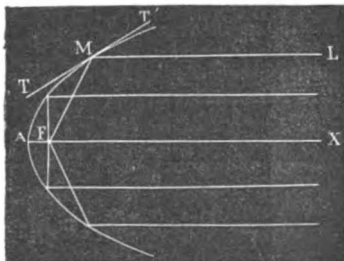
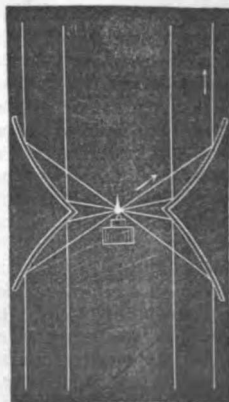



Fig. 321.

Si è veduto precedentemente (460) che negli specchi sferici i raggi paralleli all'asse concorrono al foco principale solo approssimativamente; da ciò risulta che reciprocamente una sorgente di luce collocata nel foco principale di tali specchi dà un fascio di raggi riflessi che non sono esattamente paralleli all'asse. Ora questo difetto non si incontra negli specchi parabolici, i quali benchè di più difficile costruzione che gli specchi sferici, si devono però preferire come riflettori. Infatti è nota proprietà della parabola quella che per un punto M qualunque di questa curva, il raggio vettore FM e la retta ML, parallela all'asse, fanno colla tangente TT' angoli eguali. Per conseguenza, negli specchi parabolici, tutti i raggi paralleli all'asse concorrono esattamente, dopo la riflessione, al foco F dello specchio; e, reciprocamente, quando sia collocata in questo foco una sorgente di luce, i raggi luminosi che cadono sullo specchio, riflettendosi, formano un fascio esattamente parallelo all'asse. Ne segue che la luce riflessa dai medesimi tende a conservare la stessa intensità ad una grande distanza, perchè abbiamo veduto (438) che la intensità della luce è indebolita principalmente dalla divergenza dei raggi luminosi.

Per questa proprietà le lampade che si collocano sulle pubbliche carrozze e sui convogli delle strade-ferrate sono munite di riflettori parabolici. Questi riflettori furono anche usati per molto tempo nei fari, ma vedremo quanto prima che ora si adoperano di preferenza vetri lenticolari.

Fig. 322.

Segando due specchi parabolici eguali con un piano passante pel foco perpendicolare all'asse e riunendoli per le due sezioni fatte, come dimostra la figura 322, in modo che i due fochi coincidano, si ottiene un sistema di riflettori col quale una sola fiamma illumina contemporaneamente in due opposte direzioni. Questo sistema viene applicato alle scale per rischiararle in tutta la loro estensione.

CAPITOLO III.

RIFRAZIONE SEMPLICE, LENTI

463. **Fenomeno della rifrazione.** — La *rifrazione* è una deviazione che subiscono i raggi luminosi quando passano obbliquamente da un mezzo all'altro, per es., dall'aria nell'acqua od in qualsiasi altro mezzo trasparente. Diciamo *obbliquemente*, perchè se il raggio luminoso è perpendicolare alla superficie che separa i due mezzi, non è deviato e continua a propagarsi in linea retta.

Rappresentando con SO (fig. 323) il *raggio incidente*, chiamasi *raggio rifratto* la direzione OH che prende la luce nel secondo mezzo, e gli angoli SOA ed HOB che formano questi raggi colla retta AB, normale alla superficie che separa i due mezzi, si chiamano l'uno *angolo d'incidenza*, l'altro *angolo di rifrazione*. Secondo che il raggio rifratto si avvicina o si allontana dalla normale, si dice che il secondo mezzo è più o meno *rifrangente* del primo.

Fig. 323.

Il calcolo mostra che la direzione della rifrazione dipende dalla velocità relativa della luce nei due mezzi. Il mezzo più rifrangente, nel sistema delle ondulazioni, è quello nel quale la velocità di propagazione è minore.

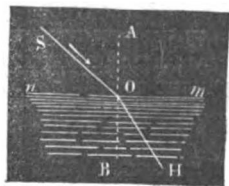
La luce incidente che si presenta per passare da un mezzo in un altro non penetra mai completamente in quest'ultimo: una parte se ne riflette alla superficie di separazione dei due mezzi, e penetra nel secondo mezzo soltanto l'altra.

Nei mezzi non cristallizzati, come l'aria, i liquidi, il vetro ordinario, il raggio luminoso, semplice all'incidenza, rimane ancora semplice dopo la rifrazione; ma in certi corpi cristallizzati, come lo spato d'Islanda, il solfato di calce cristallizzato o gesso, il raggio incidente dà origine a due raggi rifratti. Il primo di questi fenomeni costituisce la *rifrazione semplice;* al secondo si dà il nome di *doppia rifrazione.* Qui parleremo soltanto della rifrazione semplice; la teoria della rifrazione doppia verrà spiegata più innanzi (549)

464. **Leggi della rifrazione semplice.** — Quando un raggio luminoso si rifrange passando da un mezzo in un altro dotato di un potere rifrangente diverso, si osservano le due leggi seguenti:

1.ª *Qualunque sia l'obbliquità del raggio incidente, il seno dell'angolo d'incidenza ed il seno dell'angolo di rifrazione stanno in un rapporto costante per due mezzi eguali ma variabile al cangiare dei mezzi.*

2.ª *Il raggio incidente ed il raggio rifratto sono in uno stesso piano perpendicol arealla sua superficie di separazione dei due mezzi.*

Queste leggi sono conosciute sotto il nome di *leggi di Cartesio*, fisico che pel primo le formulò. Per dimostrarle si adopera lo stesso apparato che servì per le leggi della riflessione (440). A questo effetto,

si sostituisce allo specchio piano, collocato al centro del circolo graduato, un vaso semicilindrico di vetro pieno d'acqua, in modo che la superficie del liquido si trovi esattamente all'altezza del centro del circolo (fig. 324). Inclinando allora lo specchio M in modo di dirigere verso il centro un raggio riflesso MO, questo si rifrange al suo ingresso nell'acqua; ma nell'uscire non si rifrange più, perchè allora la sua direzione è perpendicolare alla parete curva del vaso B. Per conoscere l'andamento del raggio rifratto PO, lo si riceve sopra un diaframma P il quale si fa muovere fino a tanto che l'immagine dell'apertura praticata nel diaframma N venga a formarsi al suo centro. Finalmente in tutte le posizioni dei diaframmi N e P il seno dell'angolo d'incidenza e quello dell'angolo di rifrazione sono misurati da due regoli I e R, mobili attorno ad un asse, divisi in millimetri ed equilibrati in modo da rimanere costantemente orizzontali, cioè perpendicolari al diametro AD.

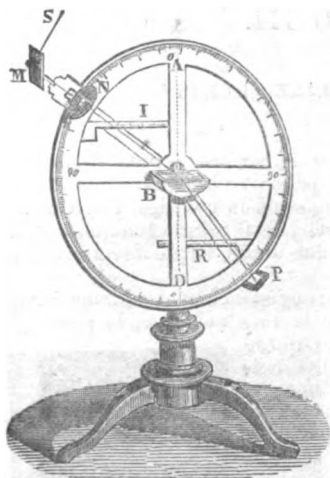



Fig 324 (a. = 48).

Ciò posto, misurando, per mezzo dei regoli I ed R, i seni degli angoli MOA e DOP, si trovano numeri che variano colla posizione dei diaframmi, ma il cui rapporto è costante; cioè se il seno dell'angolo d'incidenza diventa due o tre volte maggiore, altrettanto avviene del seno dell'angolo di rifrazione, il che dimostra la prima legge. La seconda poi trovasi dimostrata dalla stessa disposizione dell'apparecchio, perchè il piano del circolo graduato è perpendicolare alla superficie del liquido contenuto nel vaso semicilindrico.

465. Indice di rifrazione. — Il rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza e quello dell'angolo di rifrazione si chiama *indice di rifrazione*.

Rappresentando con n questo indice, e con i e r gli angoli di incidenza e di rifrazione, si ha dunque $\frac{sen\, i}{sen\, r} = n$. L'indice varia coi mezzi: dall'aria all'acqua, esso è di $\frac{4}{3}$, dall'aria al vetro $\frac{3}{2}$. Ciò che si esprime dicendo che l'indice di rifrazione dell'acqua riguardo all'aria è $\frac{4}{3}$ e che quello del vetro è $\frac{3}{2}$. Se la luce, invece di passare dall'aria in un'altra sostanza, passasse dal vuoto in questa stessa sostanza, si avrebbe l'indice di *rifrazione assoluta* di quest'ultimo. I gas essendo pochissimo rifrangenti, l'indice di rifrazione assoluta differisce sempre pochissimo dall'indice di rifrazione riguardo all'aria.

Reciprocamente se si considerano i mezzi in un ordine inverso, vale a dire se la luce si propaga dall'acqua nell'aria o dal vetro nell'aria, si constata, col mezzo dell'apparecchio suddescritto (fig. 324), che i raggi seguono lo stesso cammino, ma in senso contrario, PO divenendo raggio incidente e OM il raggio rifratto. L'indice di rifrazione che era dapprima n, è dunque attualmente $\frac{1}{n}$: per esempio, dall'acqua all'aria è $\frac{3}{4}$, e dal vetro all'aria $\frac{2}{3}$.

466. **Effetti prodotti dalla rifrazione.** — Per effetto della rifrazione i corpi immersi in un mezzo più rifrangente dell'aria sembrano avvicinati alla superficie di questo mezzo; al contrario ne sembrerebbero allontanati se fossero posti in un mezzo meno rifrangente. Si supponga, per esempio, un oggetto L immerso in una massa d'acqua (fig. 325).

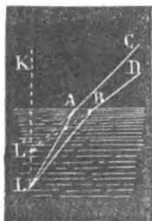



Fig. 325.

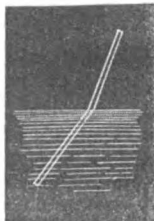



Fig 326.

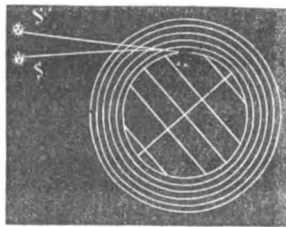



Fig. 327.

I raggi LA, LB,..., passando dall'acqua nell'aria, s'allontanano dalla normale al punto di incidenza, e prendono le direzioni AC, BL,..., i cui prolungamenti concorrono sensibilmente in un punto L' situato sulla perpendicolare LK. L'occhio che riceve questi raggi vede adunque l'oggetto L in L'. Quanto più obbliqui sono i raggi LA, LB,..., tanto più l'oggetto sembra rialzato.

Per questo stesso motivo un bastone immerso obbliquamente nell'acqua sembra spezzato (fig. 326), perchè la parte immersa appare rialzata.

Del pari per effetto della rifrazione gli astri ci sembrano più alti che non siano sul nostro orizzonte. E di fatto, siccome gli strati atmosferici aumentano di densità avvicinandosi al suolo, e per uno stesso gas il potere rifrangente cresce colla densità (476), ne risulta che i raggi luminosi, entrando nell'atmosfera e propagandosi in essa, si piegano come mostra la figura 327, descrivendo una curva che arriva fino all'occhio; quindi noi vediamo l'astro in S' nella direzione tangente di questa curva invece di vederlo in S. Nei nostri climi la rifrazione atmosferica non eleva gli astri più di mezzo grado.

467. **Angolo limite, riflessione totale.** — Si è veduto (465) che quando un raggio luminoso passa da un mezzo in un altro meno rifrangente, come dall'acqua nell'aria, l'angolo di rifrazione è maggiore dell'angolo d'incidenza. Ne segue che quando la luce si propaga in una massa d'acqua da S in O (fig. 328), v'è sempre un valore dell'angolo di inci-

denza SOB pel quale l'angolo di rifrazione AOR è retto, ossia, pel quale il raggio rifratto OR emerge parallelamente alla superficie dell'acqua.

Quest'angolo SOB si chiama *angolo limite*, perchè per ogni angolo d'incidenza maggiore, come POB, il raggio incidente PO non può dare origine ad alcun raggio rifratto. Infatti, siccome l'angolo AOR cresce coll'angolo SOB, il raggio OR si trova portato in OQ, cioè non vi è più rifrazione al punto O, ma avvi una riflessione interna che chiamasi *riflessione totale*, perchè la luce incidente è riflessa quasi in totalità. Dall'acqua all'aria l'angolo limite è di 48° 35′; dal vetro all'aria è di 41° 48′.

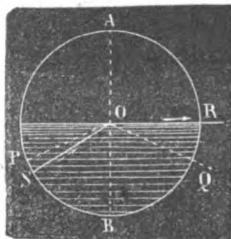



Fig. 328.

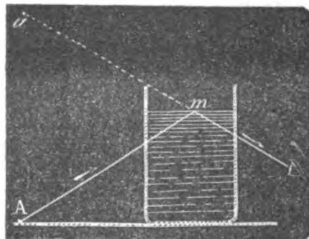



Fig. 329.

La riflessione interna si può constatare coll'esperienza seguente: dinanzi ad un vaso di vetro pieno d'acqua (fig. 329), si colloca un oggetto A; poi guardando dall'altra parte del vaso la superficie del liquido dal basso in alto, come mostra la figura, si vede in *a* al disopra del liquido l'immagine dell'oggetto A, la quale è formata dai raggi riflessi in *m*.

468. **Miraggio.** — Il *miraggio* è una illusione ottica che fa vedere al disotto del suolo o nell'atmosfera l'immagine rovesciata degli oggetti lontani. Questo fenomeno si osserva di frequente nei paesi caldi, e particolarmente nelle sabbiose pianure dell'Egitto. Ivi, il suolo presenta spesso l'aspetto di un lago tranquillo sul quale si riflettono gli alberi ed i villaggi circostanti. Questo fenomeno venne osservato fin dalla più remota antichità; ma Monge fu il primo che ne diede la spiegazione quando fece parte della spedizione d'Egitto.

Il miraggio è un fenomeno di rifrazione che risulta dalla ineguale densità degli strati atmosferici quando sono dilatati pel loro contatto col suolo molto riscaldato. Gli strati inferiori essendo allora i meno densi, un raggio luminoso che si diriga da un oggetto elevato A (fig. 330) verso il suolo, attraversa strati sempre meno rifrangenti; perchè vedremo quanto prima (476) che un gas è tanto meno rifrangente quanto meno è denso. Ne risulta che l'angolo d'incidenza cresce da uno strato al seguente, e finisce a raggiungere l'angolo limite, oltre il quale invece della rifrazione avviene la riflessione interna (467). Il raggio allora si rialza, come mostra la figura 330, e subisce una serie di rifrazioni successive in senso contrario alle prime, perchè passa in istrati sempre più rifrangenti. Esso giunge dunque all'occhio dell'osservatore con quella stessa direzione che avrebbe se fosse partito da un punto situato al di sotto del suolo, e perciò produce un'immagine rovesciata dell'og-

getto da cui fu emesso, come se fosse stato riflesso, in un punto O, sulla superficie di un'acqua tranquilla.

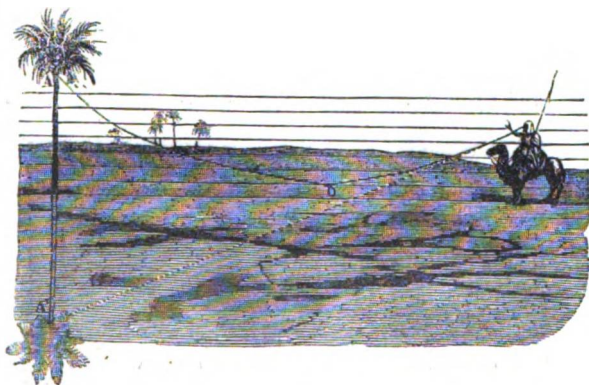



Fig. 330.

Talvolta i navigatori osservano, nell'atmosfera, l'immagine rovesciata delle spiaggie o delle navi lontane: anche questo è un effetto di miraggio che si produce in senso contrario al primo, e solo quando la temperatura del mare è inferiore a quella dell'aria, perchè allora gli strati più bassi dell'atmosfera sono i più densi a motivo del loro contatto colla superficie delle acque.

TRASMISSIONE DELLA LUCE ATTRAVERSO I MEZZI DIAFANI

469. Mezzi a facce parallele. — Quando la luce attraversa un mezzo terminato da facce parallele, i raggi *emergenti*, cioè quelli che escono, sono paralleli ai raggi incidenti.

Per dimostrarlo si rappresenti con MN (fig. 331) una lastra di vetro a facce parallele, con SA un raggio incidente, e con DB il raggio emergente: siano i ed r gli angoli di incidenza e di rifrazione del raggio all'ingresso nel vetro, ed i', r', gli angoli di incidenza e di rifrazione all'emergenza dal vetro. La luce in A subisce una prima rifrazione il cui indice è $\frac{sen\ i}{sen\ r}$ (465). In D si rifrange un'altra volta, ed allora l'indice è $\frac{sen\ i'}{sen\ r'}$. Ora si è veduto (465) che l'indice di rifrazione dal vetro all'aria è l'inverso dell'indice dall'aria al vetro; dunque si ha $\frac{sen\ i'}{sen\ r'} = \frac{sen\ r}{sen\ i}$.

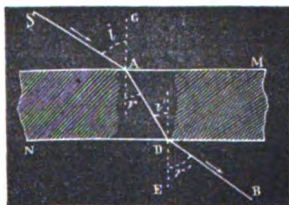



Fig. 331.

Ma siccome le due normali AG, DE sono parallele, gli angoli r ed i' come alterno-interni, sono eguali. Per conseguenza, essendo eguali i numeratori dei due rapporti precedenti, saranno pure eguali i denominatori; d'onde si conchiude che gli angoli r' ed i sono eguali e che, per conseguenza, BD è parallela ad SA.

470. Prismi. — In ottica chiamasi *prisma* ogni mezzo trasparente terminato da due facce piane inclinate l'una all'altra. L'intersezione di queste due facce è una linea retta che chiamasi *spigolo* del prisma, e l'angolo che esse comprendono dicesi *angolo rifrangente* del prisma. Ogni sezione perpendicolare allo spigolo dicesi *sezione principale*. Siccome i prismi che si adoperano d'ordinario per le esperienze, sono prismi triangolari retti di vetro come quello rappresentato dalla fig. 332, la loro sezione principale è un triangolo (fig. 333). In questa sezione

Fig. 332.

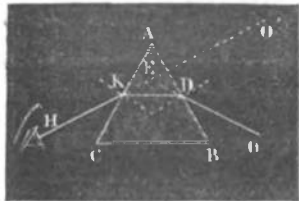



Fig. 333.

il punto A chiamasi *vertice* del prisma, e la retta BC *base* del medesimo; espressioni che, geometricamente parlando, sono applicabili soltanto al triangolo ABC e non al prisma.

471. Andamento dei raggi nei prismi. — Quando si conoscano le leggi della rifrazione, è facile il determinare l'andamento della luce nei prismi. Infatti, sia O (fig. 333) un punto luminoso posto nel piano della sezione principale ABC di un prisma, e sia OD un raggio incidente. Questo raggio si rifrange in D, avvicinandosi alla normale, perchè entra in un mezzo più rifrangente, e prende una direzione DK determinata dalla relazione $\frac{sen\ i}{sen\ r} = \frac{3}{2}$ che fa conoscere l'angolo r quando sia dato l'angolo i. In K il raggio subisce una seconda rifrazione; ma allora si allontana dalla normale perchè passa nell'aria che è meno rifrangente del vetro e prende una direzione KH, data dall'equazione $\frac{sen\ i'}{sen\ r'} = \frac{2}{3}$ (465). Adunque la luce è rifratta due volte nello stesso senso, e l'occhio che riceve il raggio emergente KH vede l'oggetto O in O'; cioè *gli oggetti veduti attraverso ad un prisma sembrano trasportati verso il vertice di questo.* La deviazione che il prisma fa allora subire alla luce è misurata dall'angolo OEO' che il raggio emergente forma coll'incidente; quest'angolo chiamasi *angolo di deviazione*. Esso aumenta coll'indice di rifrazione del prisma, poichè i raggi si inflettono in tal caso di troppo al loro entrare nel prisma ed all'uscirne. Si vedrà fra poco (472 e 473) che la deviazione dipende ancora dall'angolo rifrangente del prisma e dalla grandezza dell'angolo di incidenza dei raggi.

Si osserva inoltre che gli oggetti veduti attraverso ai prismi sembrano dotati dei colori vivaci dell'iride; questo fenomeno sarà descritto in seguito sotto il nome di *dispersione* (487).

472. Condizione di emergenza dei prismi. — I raggi luminosi che si sono rifratti alla prima faccia d'un prisma non possono emergere dalla seconda se non quando l'angolo rifrangente del prisma è minore del doppio dell'angolo limite della sostanza di cui il medesimo è formato.

Infatti, rappresentando con LI (fig. 334) il raggio incidente sulla prima faccia, con IE il raggio rifratto, con PI e PE le normali, si sa che il raggio IE non può emergere dalla seconda faccia se l'angolo di incidenza IEP non è minore dell'angolo limite (467). Ora aumentando l'angolo di incidenza NIL, avviene altrettanto dell'angolo EIP, mentre invece l'angolo IEP diminuisce. Per conseguenza, quanto più la direzione del raggio LI si accosta ad essere parallela alla faccia AB, tanto più facilmente questo raggio potrà emergere dalla seconda faccia.

Fig. 334.

Suppongasi adunque che LI sia parallela ad AB; allora l'angolo r avendo il suo valore massimo è eguale all'angolo limite l del prisma. D'altronde, l'angolo KPK, esterno al triangolo IPE, eguaglia $r + i'$; ma gli angoli EPK ed A sono eguali perchè hanno i lati rispettivamente perpendicolari; dunque $A = r + i'$, e quindi anche $A = l + i'$, perchè nel caso che consideriamo si ha $r = l$. Per conseguenza, se fosse $A = 2l$, ovvero $A > 2l$ si avrebbe $i' = l$, ovvero $i' > l$, dunque non vi potrebbe essere emergenza dalla seconda faccia, ma riflessione interna ed emergenza soltanto dalla terza faccia BC. A più forte ragione, avverrà altrettanto dei raggi il cui angolo di incidenza sia minore di BIN, perchè si è veduto poc'anzi che in tal caso l'angolo i' va crescendo. Pertanto, nel caso in cui l'angolo rifrangente del prisma sia eguale o maggiore di $2l$, non può passare alcun raggio luminoso attraverso alle facce dell'angolo rifrangente.

Siccome l'angolo limite del vetro è 41° 48', il doppio di quest'angolo è minore di 90°; d'onde si conchiude che non si possono vedere gli oggetti attraverso ad un prisma di vetro il cui angolo rifrangente sia retto. L'angolo limite dell'acqua essendo invece 48° 35', la luce può ancora attraversare l'angolo retto d'un prisma cavo che fosse formato con tre lastre di vetro ed empito d'acqua.

Nel caso in cui l'angolo A sia minore di $2l$, vi è sempre emergenza dalla seconda faccia di una parte della luce incidente sulla prima, e la quantità di luce che allora passa dipende dall'incidenza dei raggi diretti LI. Se l'angolo A è compreso tra l e $2l$, una parte dei raggi incidenti compresi nell'angolo NIB può emergere, ma tutti quelli compresi nell'angolo NIA subiscono la riflessione totale sulla faccia AC. Per $A > 0$ e $< l$, possono passare tutti i raggi compresi nell'angolo NIB ed una parte di quelli compresi nell'angolo NIA.

473. Deviazione minima. — Quando si riceve un fascio di luce solare attraverso ad un'apertura A praticata nell'imposta di una camera oscura (fig. 335), si osserva che il

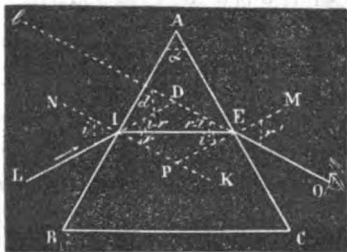
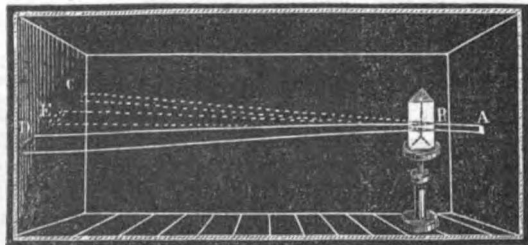



Fig. 335.

fascio va a proiettarsi secondo la retta AC sopra un diaframma lontano. Ma se tra l'apertura dell'imposta ed il diaframma si interpone un prisma verticale, il fascio è deviato verso la base del prisma e viene a proiettarsi in D lungi dal punto C. Allora facendo girare il sostegno del prisma in modo che l'angolo d'incidenza decresca, si vede il disco luminoso D avvicinarsi al punto C sino ad una certa posizione E, oltre la quale, se si continua a far girare il prisma nello stesso verso, il disco retrocede. Evvi dunque

una deviazione EBC minore di tutte le altre. Si dimostra col calcolo che questa *deviazione minima* avviene quando gli angoli di incidenza e di emergenza sono eguali.

L'angolo di deviazione minima si può determinare col calcolo, quando si conoscano l'angolo d'incidenza e l'angolo rifrangente. Infatti, siccome quando avvi deviazione minima l'angolo di emergenza r' è eguale all'angolo di incidenza i (fig. 334), bisogna che sia $r = i'$. Ora si è veduto più sopra (472) che $A = r + i'$; dunque $A = 2r$ [1]. Ciò posto, se si rappresenta con d l'angolo di deviazione minima IDL, siccome quest'angolo è esterno al triangolo DIE, si trova facilmente l'equazione

$$d = i - r + r' - i' = 2i - 2r, \text{ ossia } d = 2i - A \text{ [2]},$$

la quale fa conoscere l'angolo d quando siano noti gli angoli i ed A.

Dalle formole [1] e [2] se ne deduce una terza, la quale serve a calcolare l'indice di rifrazione d'un prisma, quando se ne conosca l'angolo rifrangente e la deviazione minima. Infatti, siccome l'indice di rifrazione è il rapporto dei seni degli angoli di incidenza e di rifrazione, rappresentandolo con n, si ha $n = \frac{sen\ i}{sen\ r}$, e sostituendo ad i e ad r i loro valori cavati dalle formole precedenti [1] e [2] risulta

$$n = \frac{sen\left(\frac{A + d}{2}\right)}{sen\ \frac{A}{2}} \text{ [3].}$$

474. Misura dell'indice di rifrazione dei solidi. — Per mezzo della formola [3] suesposta, si calcola facilmente l'indice di rifrazione quando siano noti gli angoli A e d.

Per determinare dapprima l'angolo A, si taglia in forma di prisma triangolare la sostanza trasparente di cui si vuole conoscere l'indice di rifrazione; poi si misura l'angolo A del prisma per mezzo di un *goniometro* (461).

L'angolo d si misura nel seguente modo: si riceve sul prisma un raggio LI emesso da un oggetto lontano (fig. 336), e si fa ruotare il prisma in modo di ottenere la deviazione minima ED. Allora, misurando con un grafometro a cannocchiale l'angolo EDL'

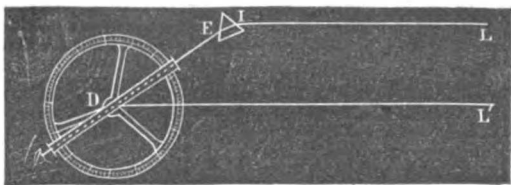
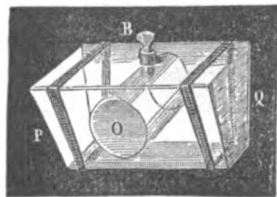



Fig. 336.

che fa il raggio rifratto DE col raggio DL' proveniente direttamente dall'oggetto, quest'angolo altro non è che la deviazione minima, supposto che l'oggetto sia abbastanza lontano perchè i due raggi LI ed L'D riescano sensibilmente paralleli. Altro non rimane che a sostituire i valori di A e di d nella formola [3], per dedurre il valore dell'indice n.

Questo processo che è dovuto a Newton, non può essere applicato che ai corpi trasparenti; ma Wollaston fece conoscere un altro metodo col quale si può calcolare l'indice di rifrazione di un corpo opaco mediante la determinazione del suo angolo limite.

Fig. 337.

475. Misura dell'indice di rifrazione dei liquidi. — Biot ha applicato il metodo di Newton, cioè quello della deviazione minima, alla ricerca dell'indice di rifrazione dei liquidi. Per ciò in un prisma di vetro PQ (fig. 337), si pratica una cavità cilindrica O di circa 2 centimetri di diametro, e che si stende dalla faccia di incidenza a quella di emergenza. Questa cavità si chiude con due piastre di vetro a facce esattamente parallele, le quali si applicano sulle facce del prisma. Una piccola apertura B che si chiude con un turacciolo smerigliato serve ad introdurre i liquidi. Dopo avere determinato l'angolo rifrangente e la deviazione

minima del prisma liquido contenuto nella cavità O, si introducono i valori di questi angoli nella formola [3] del paragrafo 473 e se ne deduce il valore dell'indice.

476. Misura dell'indice di rifrazione dei gas. — Collo stesso metodo di Newton fu pure determinato l'indice di rifrazione dei gas da Biot ed Arago. L'apparato di cui si servirono questi fisici si compone di un tubo di vetro AB (fig. 338) tagliato ad ugnatura alle sue estremità e chiuso da due lastre di vetro a facce parallele, inclinate tra loro di 143°. Questo tubo comunica da una parte con una campana H, nella quale trovasi un barometro a sifone, e dall'altra con un robinetto per mezzo del quale si può fare il vuoto nell'apparato ed introdurvi in seguito diversi gas. Fatto il vuoto nel tubo AB, lo si fa attraversare da un raggio di luce SA, il quale, alla prima incidenza, si allontana dalla normale d'una quantità $r - i$, e si avvicina alla normale di una quantità $i' - r'$ alla seconda incidenza. Siccome queste due deviazioni si sommano, così la deviazione totale d è $r - i + i' - r'$. Ora, nel caso della deviazione minima, si ha $i = r'$ ed $r = i'$, onde risulta $d = A - 2i$, perchè $r + i' = A$ (472). Adunque l'indice dal vuoto all'aria, che è evidentemente $\frac{sen\ r}{sen\ i}$, ha per valore

$$\frac{sen\ \frac{A}{2}}{sen\left(\frac{A-d}{2}\right)} \quad [4].$$

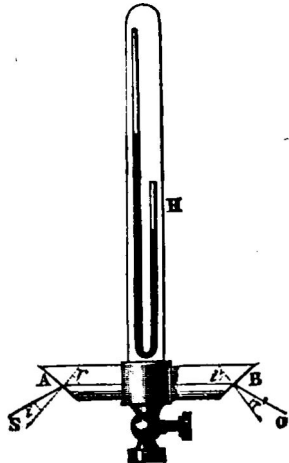
Fig. 338.

Basta pertanto conoscere l'angolo rifrangente A e l'angolo di deviazione minima d, per dedurne l'indice di rifrazione dal vuoto all'aria, sorta d'indice che, come fu detto (465), si chiama *assoluto* o *principale*.

Per ottenere l'indice assoluto di un gas diverso dall'aria, dopo aver fatto il vuoto nell'apparecchio, vi si introduce questo gas. Indi, misurati gli angoli A e d, la formola [4] precedente fa conoscere l'indice di rifrazione dal gas all'aria. Conoscendo già l'indice dal vuoto all'aria, il rapporto di questi due indici dà l'indice di rifrazione dal vuoto al gas dato, cioè il suo indice assoluto.

Col mezzo di questo apparecchio, Biot ed Arago hanno constatato che l'indice di rifrazione dei gas relativamente a quello dei solidi e dei liquidi è sempre piccolissimo, e che per uno stesso gas la *potenza rifrattiva* è proporzionale alla densità, intendendo per potenza rifrattiva di una sostanza il quadrato del suo indice di rifrazione diminuito di una unità, cioè il valore dell'espressione $n^2 - 1$. Il quoziente della potenza rifrattiva per la densità si chiama *potere rifrangente*.

Indici di rifrazione rapporto all'aria.

SOSTANZE	INDICI	SOSTANZE	INDICI
Cromato di piombo . . .	2,50, a 2,97	Ossidiana	1,488
Diamante.	2,47, a 2,75	Ghiaccio	1,310
Vetro d'antimonio . . .	2,216	Sulfuro di carbonio . . .	1,678
Solfo nativo.	2,215	Olio essenziale di mandorle amare	1,603
Tormalina	1,668	Olio di nafta	1,475
Spato d'Islanda, rifr. ord.	1,654	Essenza di trementina. .	1,470
— — rifr. str.	1,483	Alcool rettificato	1,374
Berillo.	1,598	Etere solforico.	1,358
Vetro di Flint	1,575	Albumina	1,351
Cristallo di rocca. . . .	1,547	Cristallino	1,384
Salgemma	1,545	Umore vitreo	1,339
Zucchero	1,535	Umore acquoso	1,337
Balsamo del Canadà. . .	1,532	Acqua	1,336
Vetro di Crown	1,500		

Questi indici sono stati determinati relativamente al fascie giallo dello spettro, ad eccezione di quelli dello zucchero e del crown, che lo furono riguardo al rosso estremo.

LENTI, LORO EFFETTI

477. Differenti specie di lenti. — Si chiamano *lenti* certi mezzi diafani che, attesa la curvatura delle loro superficie, hanno la proprietà di rendere convergenti o divergenti i raggi luminosi che li attraversano. Secondo il genere di curvatura, le lenti si chiamano *sferiche, cilindriche, elittiche, paraboliche.* Negli strumenti di ottica si usano soltanto le lenti sferiche. Esse si costruiscono generalmente di *crown*, vetro che non contiene piombo, o di *flint*, vetro con piombo e più rifrangente del crown.

Combinando le superficie sferiche tra loro o con superficie piane, si formano sei specie di lenti rappresentate in sezione nella figura 339:

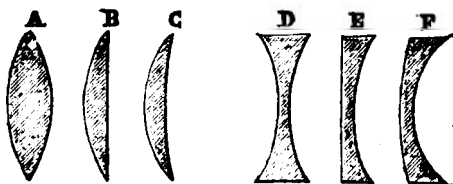



Fig. 339.

quattro sono terminate da due superficie sferiche, e due da una superficie piana ed una sferica.

La prima A, si chiama *biconvessa;* la seconda B, *piano-convessa;* la terza C, *concavo-convessa convergente;* la quarta D, *biconcava;* la quinta E, *piano-concava;* e l'ultima F, *concavo-convessa divergente.* La lente C si chiama anche *menisco convergente*, e la lente F, *menisco divergente.*

Le prime tre, le quali sono più grosse al centro che agli orli, sono *convergenti;* le ultime, più sottili al centro che agli orli, sono *divergenti.* Nel primo gruppo basta considerare la lente biconvessa, e nel secondo la biconcava, perchè le proprietà di ciascuna di queste lenti si applicano rispettivamente a quelle del medesimo gruppo.

Nelle lenti le cui superficie sono ambedue sferiche si chiamano *centri di curvatura* i centri di queste superficie; la retta indefinita che passa per questi due centri dicesi *asse principale.* Nelle lenti piano-concave e piano-convesse, l'asse principale è la perpendicolare condotta dal centro della faccia sferica alla faccia piana.

Per poter paragonare l'andamento dei raggi luminosi nelle lenti a quello che essi seguono nei prismi, si fa la stessa ipotesi che per gli specchi curvi (449), cioè si suppongono le superficie delle lenti formate da un indefinito numero di elementi piani infinitamente piccoli; allora, la *normale* in un punto qualunque, è la perpendicolare al piano tangente che contiene l'elemento corrispondente. Si sa dalla geometria che tutte le normali ad una superficie sferica passano pel suo centro. Nell'ipotesi ora enunciata si possono sempre immaginare ai punti di inci-

denza e di emergenza due superficie piane più o meno inclinate tra loro e che producono per tal modo l'effetto del prisma. Continuando questo confronto, si possono paragonare le tre lenti A, B, C ad una serie di prismi riuniti colle loro basi, e le lenti D, E, F ad una serie di prismi riuniti coi loro vertici: il che dimostra come le prime debbano ravvicinare i raggi gli uni agli altri e le altre allontanarli, perchè si è veduto che un raggio luminoso il quale attraversa un prisma, è deviato verso la base di esso (471).

478. Fochi nelle lenti biconvesse. — Nelle lenti, come negli specchi, chiamansi *fochi* i punti in cui concorrono i raggi rifratti od i loro prolungamenti. Le lenti biconvesse presentano le stesse specie di fochi degli specchi concavi, cioè: dei *fochi reali* e dei *fochi virtuali*.

1.° *Fochi reali*. — Consideriamo dapprima, come l'abbiamo fatto per gli specchi, il caso in cui i raggi luminosi che cadono sulla lente siano paralleli al suo asse principale, come viene rappresentato dalla fig. 340.

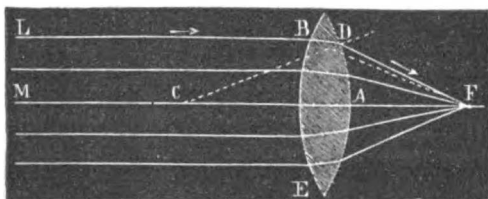



Fig. 340.

In questo caso, ogni raggio incidente LB, avvicinandosi alla normale al punto di incidenza B, ed allontanandosene al punto di emergenza D, si rifrange due volte verso l'asse e lo interseca in F. Siccome tutti i raggi paralleli all'asse si rifrangono nello stesso modo, così vengono a passare tutti sensibilmente per lo stesso punto F, fintanto che l'arco DE non sorpassa 10 a 12 gradi. Questo punto è il *foco principale*, e la distanza FA è la *distanza focale principale*. Essa è costante per una medesima lente, ma variabile coi raggi di curvatura e coll'indice di rifrazione. Nelle lenti ordinarie che sono di crown, il foco principale coincide quasi col centro di curvatura.

Diasi il caso in cui l'oggetto luminoso essendo al di là del foco principale, è abbastanza ravvicinato perchè tutti i raggi incidenti formino un fascetto divergente come lo rappresenta la figura 341. In questo caso, rappresentando con L il punto da cui emanano i raggi luminosi; confrontando l'andamento del raggio divergente LB con quello del raggio SB parallelo all'asse, si riconosce che il primo fa colla normale un angolo LB*n* maggiore dell'angolo SB*n*, e che, per conseguenza, deve fare anche un angolo di rifrazione maggiore; d'onde risulta che, dopo avere attraversata la lente, esso incontra l'asse in un punto *l* al di là del foco principale F. Siccome tutti i raggi partiti dal punto L vengono così a concorrere sensibilmente nello stesso punto *l*, quest'ultimo è il *foco coniugato* del punto L. Questa denominazione esprime qui, del pari che negli specchi, la relazione che esiste tra i due punti L ed *l*, relazione per la quale, se il punto luminoso vien portato in *l*, il suo foco passa reciprocamente in L.

Di mano in mano che l'oggetto L si avvicina alla lente, la divergenza dei raggi emergenti aumenta, ed il foco coniugato *l* si allontana;

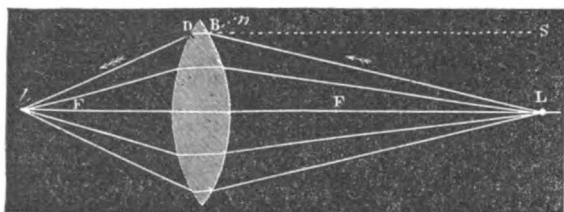



Fig. 341.

quando l'oggetto L coincide col foco principale, i raggi emergenti dall'altro lato della lente sono paralleli all'asse, ed allora non v'è più foco, o, ciò che torna lo stesso, il foco si forma a distanza infinita. In questo caso, siccome i raggi rifratti sono paralleli, l'intensità della luce diminuisce assai lentamente, per cui una sola lampada può allora illumi-

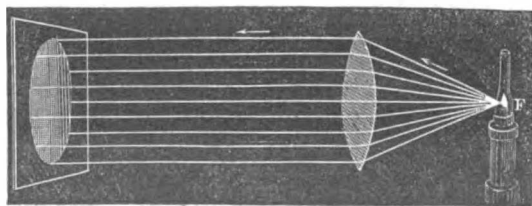



Fig. 342.

nare a grande distanza. Perciò basta collocarla al foco principale di una lente biconvessa, come mostra la figura 342.

2.° *Fochi virtuali.* — Colle lenti biconvesse il foco è virtuale quando l'oggetto luminoso L è collocato tra la lente ed il foco principale, come nella figura 343. In questo caso siccome i raggi incidenti LI formano

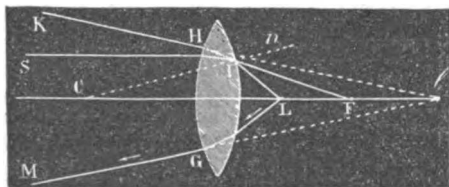



Fig. 343.

colla normale alcuni angoli maggiori di quelli formati dai raggi FI emessi dal foco principale, ne segue che dopo l'emergenza i primi di questi raggi si allontanano dall'asse più degli ultimi, e formano un fa-

scio divergente HK, GM. Adunque questi raggi non possono formare alcun foco reale, ma i loro prolungamenti concorrono in uno stesso punto l situato sull'asse; questo punto è il foco virtuale del punto L (443). Quanto più il punto L è avvicinato alla lente tanto più il suo foco virtuale l è avvicinato al foco principale F; ma se L si avvicina ad F, l se ne allontana.

479. **Centro ottico, assi secondari.** — Esiste un punto per ogni lente chiamato *centro ottico*, il quale è situato sull'asse e che gode della proprietà, che qualunque raggio luminoso passante per questo punto non risenta alcuna deviazione angolare, vale a dire che il raggio emergente è parallelo al raggio incidente. Per dimostrare l'esistenza di questo punto in una lente biconvessa, siano condotti, alle sue superficie, due raggi di curvatura paralleli CA e C'A' (fig. 344). I due

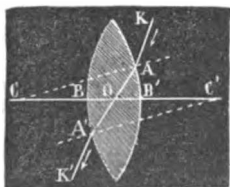



Fig. 344.

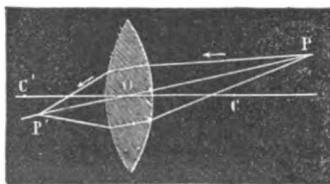



Fig. 345.

elementi piani che appartengono alla superficie della lente, in A e A', essendo paralleli tra loro, siccome perpendicolari a due rette parallele, ne risulta che qualunque raggio KA, che si propaga nella lente secondo AA', traversa in realtà un mezzo a facce parallele, e per conseguenza esce senza deviazione, vale a dire secondo una direzione A'K' parallela ad AK (469). Ora il punto O, nel quale questo raggio incontra l'asse, è costante; vale a dire è sempre lo stesso, qualunque siano i due elementi paralleli A, A' che si considerano. Infatti se i due raggi di curvatura CA e C'A' sono eguali, ciò che è il caso generale, i due triangoli CAO e C'A'O lo sono essi pure, e si ha CO = C'O; ciò che mostra che, in questo caso, il punto O è il punto di mezzo di CC'. Se i raggi di curvatura CA e C'A' sono ineguali, i triangoli COA e C'OA' non sono più eguali, ma sono simili, e si ha $\frac{CA}{C'A'} = \frac{CO}{C'O}$. Ora il rapporto $\frac{CA}{C'A'}$ essendo invariabile, qualunque siano i due elementi paralleli A e A', si scorge che è lo stesso del rapporto $\frac{CO}{C'O}$; ciò che esige che la posizione del punto O sia costante, solamente questo punto non è più il mezzo di CC'. Il punto O è dunque il *centro ottico* della lente. Si determina in tutti i casi conducendo due raggi di curvatura paralleli CA e C'A', e congiungendo le loro due estremità con una retta AA'.

Nelle lenti biconcave o concavo-convesse, il centro ottico si determina colla stessa costruzione data di sopra. Nelle lenti che hanno una faccia piana, questo punto è all'intersezione dell'asse colla faccia curva.

Qualunque retta PP′ (fig. 345) che passa per il centro ottico, senza passare per i centri di curvatura, è un *asse secondario.* Dietro la proprietà del centro ottico, qualunque asse secondario rappresenta un raggio luminoso rettilineo passante per questo punto; giacchè, posta la piccola grossezza delle lenti, si può ammettere che i raggi passanti per il centro ottico restino in linea retta; vale a dire che si può trascurare la piccola deviazione che provano i raggi, rimanendo paralleli, quando traversano un mezzo a facce parallele (fig. 331 pag. 371).

Finchè gli assi secondari non fanno coll'asse principale che un piccolo angolo, si può loro applicare tutto ciò che è stato detto fin qui dell'asse principale; vale a dire che i raggi emessi da un punto P (fig. 345), situato su un asse secondario PP′ vengono, molto prossimamente, a concorrere in uno stesso punto P′ di questo asse, dove formano un foco che si designa ancora sotto il nome di *foco coniugato.*

480. **Determinazione dei fochi nelle lenti biconvesse.** — *Foco principale.* — Per determinare sperimentalmente il foco principale di una lente biconvessa, basta di esporla ai raggi solari, avendo cura che il suo asse principale sia loro parallelo. Ricevendo allora su di uno schermo di vetro smerigliato il fascio emergente, si determina facilmente il punto in cui vengono a concorrere i raggi: è il foco principale.

Il foco di una lente biconvessa può essere determinato anche sperimentalmente. Bisogna però conoscere il suo raggio di curvatura e il suo indice di rifrazione. Infatti, siano AI un raggio parallelo all'asse

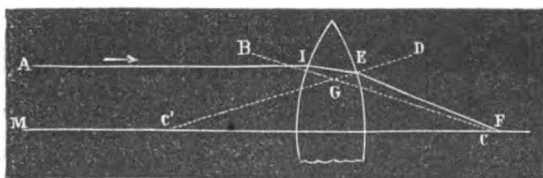



Fig. 346.

e CB la normale al punto di incidenza I (fig. 346). L'angolo di incidenza AIB = MCB, potendosi misurare direttamente col mezzo del rapportatore, la formola $\frac{sen\, i}{sen\, r} = \frac{3}{2}$ (465) fa trovare l'angolo CIE, e, per conseguenza, la direzione, nella lente, del raggio rifratto IE. Rimane a costruire il raggio emergente EF. Ora, nel triangolo CGC′ gli angoli C e C′ potendosi misurare direttamente, l'angolo G è determinato. Conoscendo dunque due angoli I e G del triangolo IEG, si ha l'angolo E. Ottenuto quest'angolo, la formola $\frac{sen\, i'}{sen\, r'} = \frac{2}{3}$ fa trovare l'angolo DEF $= r'$, e, di conseguenza, la direzione EF e la posizione del foco principale F.

Foco coniugato. — Un punto luminoso o illuminato essendo posto in presenza di una lente biconvessa, al di là del foco principale, il suo foco coniugato si determina coll'esperienza, identicamente al modo che si è veduto usarsi per determinare il foco principale, vale a dire cercando con uno schermo, dall'altro lato della lente, il luogo dove si forma l'immagine del punto dato.

Quanto alla determinazione grafica del foco coniugato, si può ottenerla con due costruzioni, come per gli specchi (451). 1.° Considerando un raggio incidente qualunque PI (fig. 347), si conducono ai punti di

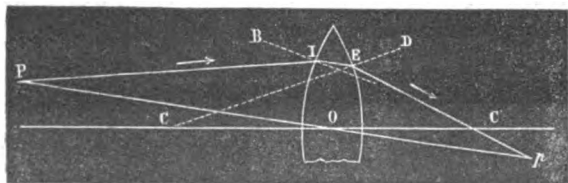



Fig. 347.

incidenza e di emergenza le normali C'B e CD, poi si determinano gli angoli di rifrazione C'IE e DEp col mezzo della formola $\frac{sen\ i}{sen\ r} = n$, come si è fatto di sopra per la costruzione della figura 346.

2.° Oppure, invece di un raggio incidente qualunque, si prende un raggio parallelo all'asse principale, come si è già fatto per gli specchi (fig. 306). Per ciò, P essendo il punto luminoso di cui si cerca il foco coniugato (fig. 348), sia condotto un raggio incidente PI parallelo al-

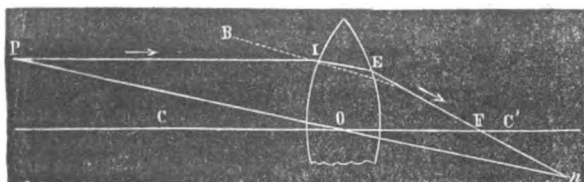



Fig. 348.

l'asse principale. Avendo condotta per il punto di incidenza la normale C'B, l'angolo di rifrazione C'IE non può ancora determinarsi che colla formola $\frac{sen\ i}{sen\ r} = n$; ma il raggio emergente può trovarsi più semplicemente. Infatti, il raggio incidente essendo parallelo all'asse principale, si sa che il raggio emergente deve passare per il foco principale (478). Se dunque si congiunge il punto E col punto F con una retta, questa, prolungata, andrà a tagliare l'asse secondario PO in un punto p che è il foco coniugato cercato, poichè deve trovarsi contemporaneamente sulle due rette Pp ed Ep [1].

[1] Per evitare l'impiego della formola $\frac{sen\ i}{sen\ r} = n$ nella determinazione dei fochi, si fa uso qualche volta della costruzione seguente. Supponendo il foco principale conosciuto, e la lente ridotta ad un semplice piano MN, dopo di avere condotto dal punto P

Foco virtuale. — Le due stesse costruzioni che sono state date testè pei fochi coniugati (fig. 347 e 348), si applicano identicamente ai fochi virtuali, soltanto bisogna ricordarsi che questi non si hanno se non in quanto l'oggetto luminoso è posto tra la lente e il suo foco principale.

481. Formazione delle immagini nelle lenti biconvesse. — Nelle lenti, come negli specchi, l'immagine di un oggetto è l'insieme dei fochi di ciascuno dei suoi punti; da cui risulta che le immagini fornite dalle lenti sono reali o virtuali negli stessi casi dei fochi, e che la loro costruzione si riconduce a ricercare una serie di punti, come si è veduto per gli specchi (452).

1.° *Immagine reale.* — *Prima costruzione.* — Sia dapprima il caso in cui l'oggetto AB, di cui si cerca l'immagine, è posto al di là del foco principale (fig. 349). La costruzione di questa immagine riconducendosi

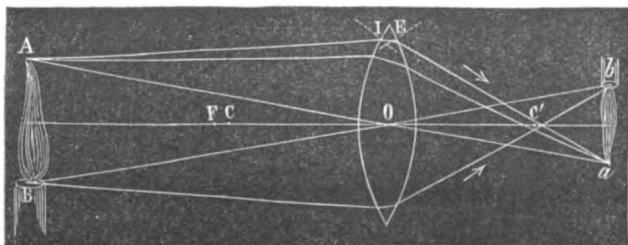
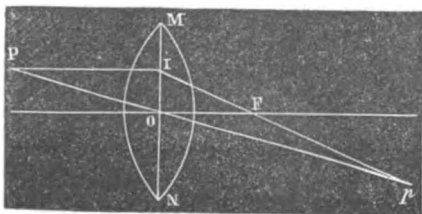



Fig. 349.

a quella dei fochi coniugati di diversi punti dell'oggetto, basta di costruire i fochi di due punti estremi, impiegando la costruzione data di sopra (fig. 347) per la determinazione dei fochi coniugati.

Tirando dunque dapprima gli assi secondari AO e BO, si conduce dal punto A un raggio incidente qualunque AI, al punto di incidenza della normale C'I, poi il raggio rifratto IE, che s'approssimi alla normale di una quantità data dall'indice di rifrazione del vetro; tirando egualmente la normale CE dal punto di emergenza, poi il secondo raggio

l'asse secondario P*p*, si conduce un raggio PI parallelo all'asse principale, che si prolonga in linea retta fino all'incontro del piano MN in I. Poi, siccome si sa che il raggio

emergente deve passare pel foco principale, si congiunge il punto I col punto F con una retta che prolungata, vada ad intersecare l'asse secondario in *p*, ed è questo punto che si prende per foco coniugato del punto P; ma questa costruzione non è rigorosa, e il foco così determinato è troppo lontano.

rifratto Ea, che qui si scosta dalla normale, perchè passa in un mezzo meno rifrangente (463), il punto a in cui il raggio emergente interseca l'asse secondario AO, è l'immagine del punto A; giacchè tutti i raggi incidenti partiti da A vanno, dopo di aver traversata la lente, ad incontrarsi nel punto a. Operando nello stesso modo per il punto B, si trova che la sua immagine si forma in b. Siccome i punti situati tra A e B hanno evidentemente i loro fochi tra a e b, si forma in ab un'immagine *reale e rovesciata* dell'oggetto AB, *tanto più piccola e più vicina al foco principale, quanto l'oggetto* AB *è più lontano;* ciò che deriva dal decrescere dell'angolo AOB a misura che AB si allontana.

Per vedere questa immagine, bisogna riceverla su di uno schermo bianco che la rifletta, o porre l'occhio nella direzione dei raggi emergenti.

Reciprocamente, se ab fosse l'oggetto luminoso o rischiarato che invia dei raggi, la sua immagine si formerebbe in AB. Ne seguono da ciò queste due conseguenze importanti a ricordarsi per la teoria degli strumenti di ottica, che verranno descritti più tardi: 1.° *Se un oggetto, anche grandissimo, è sufficientemente lontano da una lente biconvessa, l'immagine reale e rovesciata che si ottiene è piccolissima, molto vicina al foco principale, e pochissimo al di là di questo punto per riguardo alla lente.* 2.° Reciprocamente, *se un oggetto piccolissimo è posto vicino al foco principale, un po' avanti di questo punto, l'immagine che va a formarsi a grande distanza, è molto ampliata, e lo è tanto più, quanto l'oggetto è più vicino al foco principale.* Questi due principii sono facili a constatarsi coll'esperienza, ricevendo su di uno schermo, nella oscurità, l'immagine della fiamma di una candela posta successivamente a distanze variabili al di là di una lente biconvessa.

Seconda costruzione. — Nella costruzione testè data, si è considerato un raggio incidente qualunque, ciò che è il caso generale. Ora, si può anche considerare il caso particolare in cui il raggio incidente è parallelo all'asse principale, come si è già veduto per gli specchi (fig. 311) e pei fochi coniugati delle lenti (fig. 348).

Perciò, avendo condotti gli assi secondari dei punti A e B (fig. 350), si sa (478) che il raggio AI, parallelo all'asse principale, andrà dopo

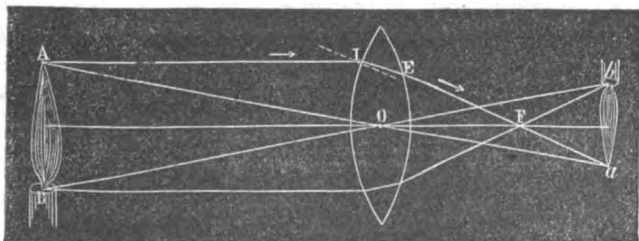



Fig. 350.

di avere attraversato la lente, a passare per il foco principale di essa F. ciò che dà immediatamente la direzione del raggio emergente, e, di conseguenza, la posizione del punto cercato a. Il punto b determinandosi nello stesso modo, si ha in ab la immagine reale cercata. Tuttavia questa costruzione non dà la direzione del raggio rifratto IE, che non

può ancora misurarsi, se non se conducendo la normale al punto di incidenza I e facendo uso della formola $\frac{sen\ i}{sen\ r} = n$; di più essa suppone che si conosca il foco principale F.

2.° ***Immagine virtuale.*** — Sia attualmente il caso in cui l'oggetto AB (fig. 351) è posto tra la lente e il suo foco principale. Se si conduce l'asse secondario O*a* dal punto A, qualunque raggio AC, dopo essersi

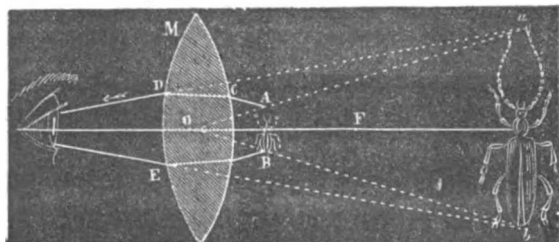



Fig. 351.

rifratto due volte, esce divergendo riguardo a questo asse, poichè il punto A è posto ad una distanza minore della distanza focale principale (478). Questo raggio, prolungato in senso contrario della sua direzione, va dunque a intersecare l'asse O*a* in un punto *a*, che è il foco virtuale del punto A. Conducendo l'asse secondario del punto B, si trova egualmente che il foco virtuale di questo punto si forma in *b*. Si ha dunque in *ab* l'immagine di AB. *Questa immagine è diritta, virtuale e più grande dell'oggetto.*

Le lenti biconvesse, così impiegate come mezzi di ingrandire le immagini degli oggetti, prendono il nome di *lenti* o *microscopi semplici.*

482. **Fochi nelle lenti biconcave.** — Colle lenti biconcave non si formano che dei fochi virtuali, qualunque sia la distanza dell'oggetto. Sia dapprima un fascio di raggi paralleli all'asse (fig. 352): un raggio qualunque SI si rifrange nel punto di incidenza I approssimandosi alla

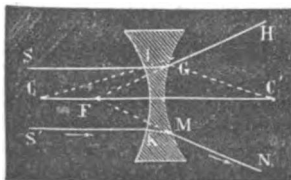
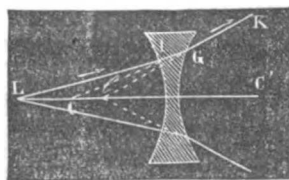



Fig 352. Fig. 353.

normale CI. Nel punto di emergenza G si rifrange di nuovo, ma allontanandosi dalla normale GC', in modo che si rifrange due volte nello stesso senso per allontanarsi dall'asse CC'. Lo stesso accadendo per qualunque altro raggio S'KMN, ne risulta che dopo di avere attraversata la lente, i raggi formano un fascio divergente GHMN. Non può dun-

que esservi focò reale: ma i prolungamenti di questi raggi incontrandosi in un punto F, che è il foco virtuale principale.

Nel caso in cui i raggi partano da un punto L (fig. 353) situato sull'asse, si trova, colla stessa costruzione, che si forma un foco virtuale in *l*, situato tra il foco principale e la lente.

483. **Determinazione dei fochi nelle lenti biconcave.** — Per trovare il foco principale di una lente biconcava, si ricopre una delle sue facce con un corpo opaco, per esempio di nero fumo, riservando, in uno stesso piano meridiano e ad eguale distanza dall'asse, in *a* e in *b* (fig. 354),

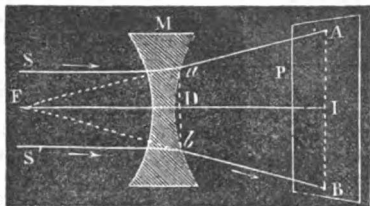



Fig. 354.

due piccoli dischi non anneriti, che lasciano passare la luce; poi si riceve sull'altra faccia della lente, parallelamente all'asse, un fascio di luce solare, e si avvicina o si allontana lo schermo P che riceve i raggi emergenti, fino a che le immagini A e B delle piccole aperture *a* e *b* siano distanti l'una dall'altra del doppio di *ab*. Trascurando la grossezza centrale della lente, che è piccolissima, l'intervallo DI è in tal caso eguale alla distanza focale FD, per ragione della somiglianza dei triangoli F*ab* e FAB.

La stessa costruzione si applicherebbe alla ricerca di un foco virtuale qualunque, poichè si avrebbe sempre $\frac{AB}{ab} = \frac{FI}{FD}$, FD essendo la distanza focale cercata.

484. **Formazione delle immagini nelle lenti biconcave.** — Le lenti biconcave come gli specchi convessi non danno che immagini virtuali, qualunque sia la distanza dell'oggetto.

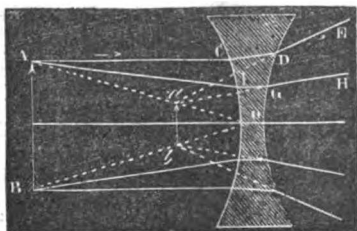



Fig. 355.

Sia, infatti, un oggetto AB (fig. 355) posto davanti ad una tale lente. Se si conduce dapprima l'asse secondario dal punto A, tutti i raggi

AC, AI, emessi da questo punto, si rifrangono due volte nello stesso senso per allontanarsi dall'asse AO; di modo che l'occhio che riceve i raggi emergenti DE e GH, li giudica partire dal punto in cui i loro prolungamenti incontrano in *a* l'asse secondario AO. Egualmente, conducendo l'asse secondario del punto B, i raggi emessi da questo punto formano un fascio di raggi divergenti le cui direzioni prolungate concorrono in *b*. L'occhio vede dunque in *ab* una immagine virtuale di AB, *la quale è sempre diritta e più piccola dell'oggetto.*

485. **Aberrazione di sfericità, caustiche.** — Nella teoria dei fochi e delle immagini presentate dalle diverse specie di lenti sferiche si suppose fin qui che i raggi emessi da uno stesso punto, dopo rifratti, andassero a riunirsi assai sensibilmente in un punto solo. Così avviene infatti quando l'apertura della lente, cioè l'angolo che si ottiene congiungendo i suoi orli col foco, non sorpassa 10 a 12 gradi. Per un'apertura maggiore, i raggi che attraversano la lente presso agli orli hanno il loro punto di riunione più vicino alla lente di quelli che la attraversano presso all'asse; ossia si produce un fenomeno analogo a quello che si è osservato negli specchi (460), sotto il nome di aberrazione di sfericità per riflessione, e che si designa col nome di *aberrazione di sfericità per rifrazione.* Le superficie lucenti, che allora si formano nello spazio a cagione delle intersezioni successive dei raggi rifratti, si chiamano *caustiche per rifrazione.*

L'aberrazione di sfericità nuoce alla chiarezza delle immagini. Si ovvia a questo inconveniente delle lenti, collocando innanzi ad esse dei diaframmi aventi un'apertura centrale in modo di lasciar passare i raggi che si presentano verso il centro e di trattenere quelli che tendono a rifrangersi presso ai lembi. Del resto, combinando due lenti di curvatura convenienti si giunge a distruggere l'aberrazione di sfericità.

486. **Formole relative alle lenti.** — Per qualunque lente, si può tradurre in equazione la relazione che sussiste tra la distanza dell'immagine, quella dell'oggetto, i raggi di curvatura e l'indice della sostanza di cui è formata la lente. Si consideri dapprima il caso di una lente biconvessa; rappresentando con P un punto luminoso situato sull'asse (fig. 350), con PI un raggio incidente, con IE la sua direzione nell'interno della lente, con EP′ il raggio emergente, di modo che P′ sia il foco coniugato di P. Inoltre siano C′I e CE le normali ai punti di incidenza e di emergenza, si chiami $IPA = \alpha$, $EP'A' = \beta$, $ECA' = \gamma$, $IC'A = \delta$, $NIP = i$, $EIO = r$, $IEO = i'$, $N'EP' = r'$.

Siccome gli angoli i ed r' sono esterni, l'uno al triangolo PIC′, l'altro al triangolo CEP′, si ha $i = \alpha + \delta$, ed $r' = \gamma + \beta$, d'onde

$$i + r' = \alpha + \beta + \gamma + \delta \;[1].$$

Ora, al punto I, si ha $sen\, i = n\, sen\, r$, ed al punto E, $sen\, r' = n\, sen\, i'$ (463); ma supponendo l'arco AI di un piccolissimo numero di gradi, altrettanto è degli angoli i, r, i' ed r', e si possono sostituire nella formola precedente ai seni i loro archi, ciò che dà $i = nr$ ed $r' = ni'$; d'onde $i + r' = n\,(r + i')$. D'altronde, siccome i due triangoli IOE e COC′ hanno l'angolo O eguale, si ha $r + i' = \gamma + \delta$, da cui $i + r' = n\,(\gamma + \delta)$. Sostituendo questo valore nell'equazione [1], risulta

$$n\,(\gamma + \delta) = \alpha + \beta + \gamma + \delta, \text{ ovvero } (n - 1)\,(\gamma + \delta) = \alpha + \beta \;[2].$$

Ciò posto, se si immagina che gli archi α e γ siano descritti coi centri P e C e con raggio eguale all'unità, e se col centro in P e raggio PA si descrive l'arco dA, si hanno le proporzioni $\frac{\alpha}{Ad} = \frac{1}{PA}$ e $\frac{\gamma}{A'E} = \frac{1}{CA'}$; d'onde si deduce $\alpha = \frac{Ad}{AP}$ e $\gamma = \frac{A'E}{CA'}$, ovvero, ponendo $AP = p$, $CA' = R$, e sostituendo all'arco Ad l'arco AI che gli è sensibilmente eguale, $\alpha = \frac{AI}{p}$ e $\gamma = \frac{A'E}{R}$.

Per l'altra faccia della lente, se si suppongono ancora gli archi 6 e δ descritti con raggio eguale all'unità, e l'arco $A'n$ descritto col raggio $P'A'$, ponendo $C'A' = R'$ ed $A'P' = p'$, si ha parimenti $\delta = \frac{AI}{R'}$, e $6 \frac{A'n}{P'A'} = \frac{A'E}{p'}$.

Sostituendo questi valori nell'equazione [2], si ha

$$(n-1)\left(\frac{A'E}{R} + \frac{AI}{R'}\right) = \frac{AI}{p} + \frac{A'E}{p'}.$$

Ammettendo che gli archi $A'E$ ed AI sieno eguali, ciò che è tanto più prossimo al vero quanto meno i raggi incidenti si allontanano dall'asse, si può sopprimere il fattore comune e si ha

$$(n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right) = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \text{ [3]}.$$

Questa è la formola per le lenti biconvesse. Ponendovi $p = \infty$, si trova

$$\frac{1}{p'} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right)$$

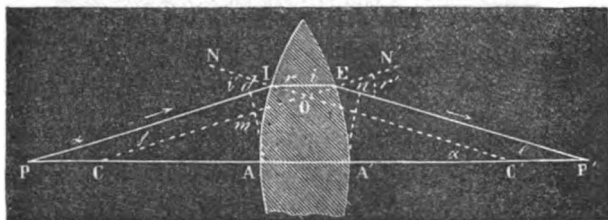



Fig. 356.

in cui p' indica la distanza focale principale. Rappresentandola con f si ha

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right) \text{ [4]};$$

equazione dalla quale è facile dedurre il valore di f. Avuto riguardo alla formola [4], la formola [3] diventa

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} \text{ [5]},$$

forma sotto la quale viene adoperata comunemente.

Quando l'immagine è virtuale, p' cangia di segno, e la formola [5] prende la forma

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} \text{ [6]}.$$

Nelle lenti biconcave p' ed f conservano lo stesso segno, ma cangia quello di p; allora la formola [5] diventa

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = -\frac{1}{f} \text{ [7]}.$$

Se nella formola [5] precedente, si faccia $p' = 2f$, si trova ancora $p = 2f$; vale a dire che *un oggetto essendo posto davanti ad una lente biconvessa, ad una distanza doppia della distanza focale, l'immagine si fa dall'altro lato alla stessa distanza, e per conseguenza è della stessa grandezza.*

CAPITOLO IV.

DISPERSIONE ED ACROMATISMO

487. **Decomposizione della luce bianca, spettro solare.** — Il fenomeno della rifrazione non è così semplice come abbiamo finora supposto: quando la luce *bianca*, cioè quella che ci giunge dal sole, passa da un mezzo in un altro, non è soltanto deviata ma è anche *decomposta in parecchie specie di luce.* Questo fenomeno si chiama *dispersione.*

Per dimostrare che la luce bianca è decomposta per effetto della rifrazione, si riceve in una camera oscura un fascio di luce solare SA (fig. 357), attraverso ad una piccolissima apertura praticata nell'imposta. Questo fascio tende a formare in K un'immagine del sole rotonda

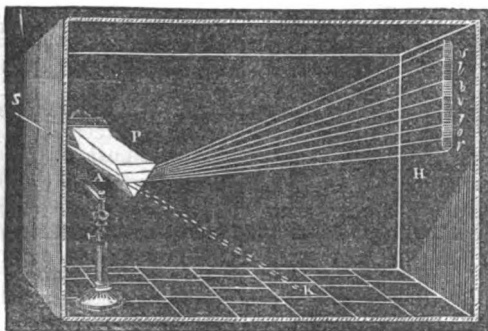



Fig. 357.

ed incolora; ma se s'interpone sul suo passaggio un prisma di flint P, disposto orizzontalmente, il fascio, all'ingresso ed all'uscita dal prisma, si rifrange verso la base di esso, ed invece di una immagine rotonda ed incolora si riceve sopra un diaframma lontano una immagine H, la quale nella direzione orizzontale ha la stessa dimensione del fascio primitivo, ma è oblunga in direzione verticale e colorata delle belle tinte dell'arcobaleno. Questa immagine colorata chiamasi *spettro solare.* Nello spettro solare trovansi realmente innumerevoli tinte, ma se ne distinguono sette principali, disposte, partendo dalla più rifrangibile, nell'ordine seguente: *violetto, indaco, turchino, verde, giallo, ranciato, rosso.* Questi colori non occupano tutti una eguale estensione nello spettro; il violetto è il più esteso e il ranciato lo è meno di tutti.

Con prismi diafani di differenti sostanze, o con prismi di vetro cavi, riempiti di diversi liquidi, si ottengono costantemente degli spettri formati cogli stessi colori e disposti nello stesso ordine; ma ad angolo rifrangente uguale, la lunghezza dello spettro varia colla sostanza di cui

è formato il prisma. Quelle che le danno maggiore estensione diconsi più *dispersive*, e la dispersione si misura colla differenza degli indici di rifrazione dei raggi estremi dello spettro. Pel flint questa differenza è 0,0433; pel crown è 0,0246; la dispersione del flint adunque è quasi doppia di quella del crown.

Per prismi della stessa sostanza, la dispersione diminuisce coll'angolo rifrangente del prisma; infatti, se quest'angolo fosse nullo, le facce d'incidenza e di emergenza sarebbero parallele e la luce non verrebbe decomposta.

Negli spettri forniti delle luci artificiali, non si osservano colori diversi da quelli che presenta lo spettro solare, ed il loro ordine è lo stesso; ma in generale ne manca qualcuno. Anche la loro intensità relativa è assai modificata. La tinta che predomina in una fiamma artificiale è pur quella che predomina nel suo spettro. Le fiamme gialle, rosse, verdi, danno spettri ove la tinta predominante è il giallo, il rosso, il verde.

Per produrre uno spettro solare i cui sette colori principali siano ben distinti, l'apertura per la quale entra la luce solare non deve avere che alcuni millimetri di diametro, e se l'angolo rifrangente del prisma è di 60°, il diaframma sul quale si riceve lo spettro deve esserne lontano da 5 a 6 metri.

488. **I colori dello spettro sono semplici e disugualmente rifrangibili.** — Se si isola uno de' colori dello spettro intercettando gli altri per mezzo di un diaframma E, come mostra la figura 358, e lo si fa passare attraverso ad un secondo prisma B, si osserva pur tuttavia una

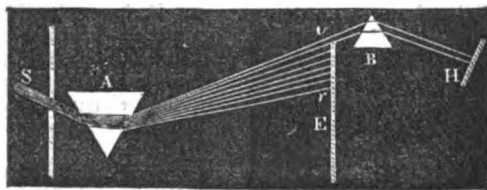



Fig. 358.

deviazione, ma la luce rimane identicamente uguale, cioè l'immagine ricevuta sul diaframma H è violetta, quando si è lasciato passare il fascio violetto; turchina, se si è lasciato passare il fascio turchino. Questo fenomeno dimostra che i colori dello spettro sono *semplici*, cioè indecomponibili per mezzo del prisma.

Inoltre i colori dello spettro sono disugualmente *rinfrangibili*, cioè hanno indici di rifrazione differenti.

La forma allungata dello spettro basterebbe a dimostrare l'ineguale rifrangibilità dei colori semplici, perchè è evidente che il colore violetto, il quale è il più deviato verso la base del prisma (fig. 357), è anche il più rifrangibile, e che il rosso, il quale è meno deviato, è il meno rifrangibile. Ma si può anche constatare la ineguale rifrangibilità dei colori semplici con parecchie esperienze. Citeremo le due seguenti:

1.° Si fissano sopra un cartone nero, l'una vicina all'altra, due piccole liste di carta, una rossa e l'altra violetta; indi si guardano at-

traverso ad un prisma. Si vedono allora deviate entrambe, ma disugualmente; la lista rossa è deviata meno della violetta, il che dimostra che i raggi rossi sono meno rifrangibili dei violetti.

2.° L'ineguale rifrangibilità dei colori semplici si dimostra anche mediante l'esperimento dei prismi incrociati di Newton. Sopra un primo prisma A (fig. 359), disposto orizzontalmente, si riceve un fascio di luce bianca S, il quale, quando attraversa soltanto il prisma A, forma uno

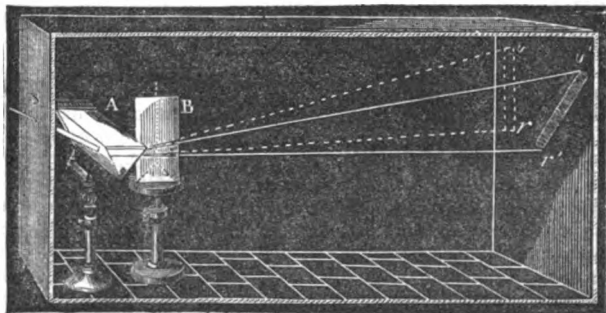



Fig. 359.

spettro *rv* su di un diaframma lontano. Se allora si colloca verticalmente dietro del primo un secondo prisma B, in modo che sia attraversato dal fascio rifratto, lo spettro *vr* è deviato verso la base del prisma verticale; ma invece di essere deviato parallelamente a sè stesso, come avverebbe se i colori dello spettro fossero rifratti egualmente, è deviato obbliquamente e prende la posizione r' v'; ciò che dimostra come partendo dal rosso sino al violetto, i colori siano sempre più rifrangibili.

Questi diversi esperimenti dimostrano che l'indice di rifrazione varia secondo i colori; bisogna notare inoltre che non tutti i raggi di un medesimo colore hanno lo stesso indice. Infatti, nella zona rossa, per esempio, i raggi che formano l'estremità dello spettro sono meno rifratti di quelli che si trovano vicini alla zona ranciata. Nei calcoli degli indici di rifrazione (474), si convenne di prendere per indice d i una sostanza quello del raggio giallo nello spettro formato da questa sostanza.

489. **Ricomposizione della luce bianca.** — Dopo aver decomposta la luce bianca, rimaneva a conoscere se si poteva riprodurla riunendo i diversi fasci separati dal prisma. Ora, questa ricomposizione si può operare per mezzo di moltissimi processi:

1.° Se si riceve lo spettro su di un secondo prisma che abbia l'angolo rifrangente uguale a quello del primo, e sia rivolto in senso contrario, come lo mostra la figura 361, i diversi colori dello spettro vengono riuniti da questo secondo prisma, e si osserva che il fascio emergente E, parallelo al fascio S, è incoloro.

2.° Ricevendo lo spettro su di una lente biconvessa (fig. 360), e collocando un diaframma bianco al suo foco, si riceve un'immagine bianca

del sole; un pallone di vetro pieno d'acqua produrrebbe lo stesso effetto della lente.

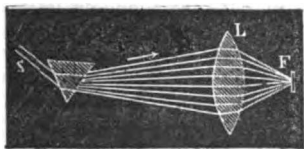
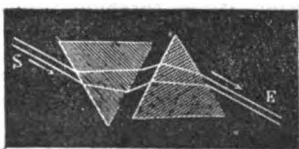



Fig. 360. Fig. 361.

3.° Facendo cadere lo spettro su di uno specchio concavo (fig. 362), al suo foco, sopra un diaframma di vetro smerigliato, si ottiene un'immagine bianca.

4.° La luce si ricompone anche mediante un grazioso esperimento che consiste nel ricevere i sette colori dello spettro sopra sette piccoli specchi a facce esattamente parallele, per non decomporre la luce, e disposti in modo che possano essere inclinati in tutti i sensi onde dirigere come si vuole la luce riflessa (fig. 363). Inclinando convenientemente questi specchi si fanno dapprima cadere sopra un diaframma bianco i sette fasci riflessi in modo da formarvi le sette immagini distinte, rossa, ranciata, gialla...;

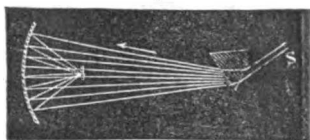



Fig. 362.

Fig. 363.

poi, facendo muovere gli specchi in modo che le sette immagini si sovrappongono esattamente, si ottiene un'immagine unica che è bianca.

5.° Finalmente, si dimostra che i sette colori dello spettro formano il bianco per mezzo del disco di Newton. È un disco di cartone del dia-

metro di 35 centimetri circa. La parte centrale e gli orli sono coperti di carta nera, e nell' intervallo sono incollate alcune liste di carta che si stendono dal centro alla circonferenza, e sono colorite in rosso, ranciato, giallo, verde, turchino, indaco, violetto, in modo da imitare colla

Fig. 364.

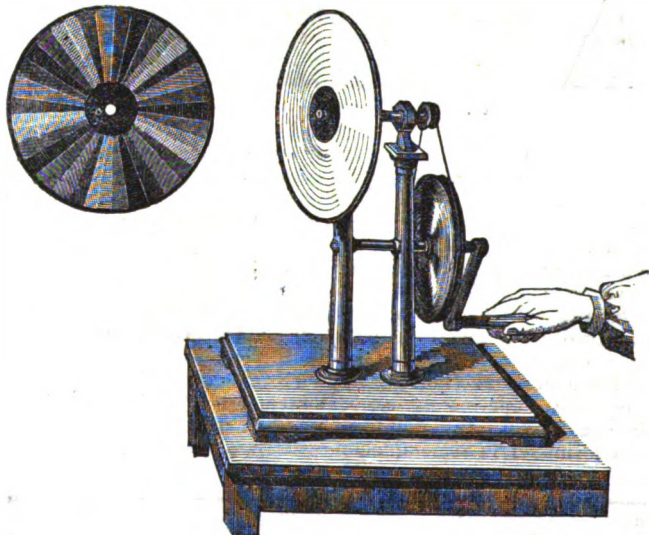



Fig. 365.

qualità ed estensione relativa delle tinte, cinque spettri successivi disposti circolarmente (fig. 364). Imprimendo a questo disco un moto rapido di rotazione, la retina riceve simultaneamente l'impressione dei sette colori dello spettro, ed il disco sembra bianco (fig. 365), od almeno grigio, perchè i colori di cui è coperto non sono esattamente quelli dello spettro.

490. **Teoria di Newton sulla composizione della luce e sui colori dei corpi.** — Newton fu il primo che decompose la luce bianca per mezzo del prisma e la ricompose. Dalle diverse esperienze suesposte ei conchiuse che la luce bianca non è omogenea, ma che è formata da sette luci disugualmente rifrangibili, cui egli chiamò luci *semplici* o *primitive*, le quali, in virtù della loro differente rifrangibilità, si dividono attraversando il prisma.

In questa teoria anche i corpi decompongono la luce per riflessione, ed il colore loro proprio non dipende che dal loro potere riflettente pei diversi colori semplici. Quelli che li riflettono tutti, nelle proporzioni in cui trovansi nello spettro, sono bianchi; quelli che non ne riflettono alcuno sono neri. Fra questi due limiti estremi si presenta un infinito numero di tinte, secondo che i corpi riflettono in maggior numero o minore quantità certi colori semplici ed assorbono gli altri. Di modo

che i corpi non sono colorati per sè stessi, ma dalla specie di luce che riflettono. Infatti, se in una camera oscura si illumina successivamente uno stesso corpo con ciascuna delle luci dello spettro, questo corpo non ha più colore proprio e, non potendo riflettere che la specie di luce che riceve, sembra rosso, ranciato, giallo..., secondo il fascio nel quale è collocato. Il colore dei corpi varia anche colla natura della sorgente di luce. La luce del gas e delle candele, per es., nelle quali predomina il giallo, comunicano questa tinta agli oggetti che rischiarano.

Tale è la teoria di Newton sulla composizione della luce e sulla colorazione dei corpi; essa è generalmente ammessa dai fisici. Alcuni però non ammettono sette colori semplici. Brewster, professore ad Edimburgo, non ne ammise che tre, cioè il rosso, il giallo e il turchino. Questo scienziato, avendo analizzato lo spettro solare guardandolo attraverso a sostanze colorate, le quali lasciano passare soltanto certi colori ed assorbono gli altri, osservò che in tutte le parti dello spettro trovasi del rosso, del giallo e del turchino. Quindi egli ammise che lo spettro solare sia formato da tre spettri sovrapposti, di eguale estensione, l'uno rosso, l'altro giallo e il terzo turchino, e che i tre spettri abbiano la loro massima intensità in punti differenti; dal che risultano le diverse tinte dello spettro solare. Questa teoria non venne adottata dai fisici francesi.

491. **Colori complementari.** — Newton chiamò *colori complementari* quelli che riuniti formano il bianco. Il verde è complementario del rosso violaceo, il turchino del ranciato, il violetto del giallo. Un colore qualunque ha sempre il suo complementario, perchè, non essendo bianco, gli mancano alcuni dei colori dello spettro per formare la luce bianca; la mescolanza di questi colori deve adunque darne uno complementario al primo.

492. **Proprietà dello spettro.** — Nei colori dello spettro si distinguono delle proprietà *rischiaranti,* delle proprietà *calorifiche* e delle proprietà *chimiche.*

1.° *Proprietà rischiaranti.* — Secondo le esperienze di Fraünhofer e d'Herschel, il massimo d'intensità della luce trovasi nel giallo e il minimo nel violetto.

2.° *Proprietà calorifiche.* — L'intensità del calore rifratto insieme ai raggi solari varia nelle diverse parti dello spettro. Leslie mostrò pel primo che esso cresce dal violetto verso il rosso. Herschel stabilì che la massima intensità si trova nella zona oscura che termina il rosso; Bérard, nel rosso stesso. Questa differenza di risultati fu spiegata da Seebeck, il quale osservò che essa dipendeva dalla natura del prisma rifrangente. Con un prisma d'acqua egli trovò il massimo calore nel giallo; con un prisma d'alcool, lo trovò nei giallo-ranciato, e finalmente con un prisma di crown, nel rosso medio.

Melloni confermò le esperienze di Seebeck mediante il suo termomoltiplicatore; egli trovò inoltre che il massimo di calore si allontana tanto più dal giallo verso il rosso, quanto più la sostanza del prisma è diatermana (389). Con un prisma di salgemma, che è sostanza la più diatermana, il massimo si trova totalmente al di là del rosso.

3.° *Proprietà chimiche.* — In un gran numero di fenomeni la luce solare si comporta come un agente chimico. Essa, per es., fa annerire il protocloruro di mercurio ed il cloruro d'argento; fa diventare opaco

il fosforo diafano e distrugge i principii coloranti d'origine vegetabile. La luce basta anche per determinare delle combinazioni, come avviene con una mescolanza di cloro e di idrogeno; infine, contribuisce principalmente alla formazione della materia verde nelle piante. Tuttavia i diversi colori dello spettro non posseggono tutti la stessa azione chimica. Scheele, pel primo, mostrò che l'effetto di un raggio violetto sul cloruro d'argento è più sensibile di quello degli altri raggi. Wollaston inoltre osservò che questa azione si estendeva fuori dello spettro visibile, colla stessa intensità che nel violetto, e ne conchiuse che, oltre i raggi che agiscono sulla retina, ne esistono altri invisibili i quali sono più rifrangibili. I raggi che posseggono la proprietà di determinare delle reazioni tra gli elementi dei corpi ricevettero il nome di *raggi chimici*.

Edmondo Becquerel, nello spettro, scoprì anche due altre specie di raggi ch'ei chiama gli uni *raggi continuatori*, gli altri raggi *fosforogenici*. I primi sono raggi che non esercitano azione chimica per sè stessi, ma che hanno la proprietà di farla continuare quando sia incominciata. I raggi fosforogenici sono quelli che hanno la proprietà di rendere luminosi certi corpi, come per es. il solfuro di bario, quando dopo essere stati esposti per qualche tempo alla luce solare, vengano collocati nell'oscurità. Ed. Becquerel riconobbe che lo spettro fosforogenico si estende dall'indaco fin molto al di là del violetto.

493. Righe dello spettro. — I diversi colori dello spettro solare non sono continui. Per parecchi gradi di rifrangibilità i raggi mancano; da ciò ne deriva, in tutta l'estensione dello spettro, un gran numero di linee oscure assai strette che si chiamano *righe dello spettro*. Per osservarle, si riceve in una camera oscura un fascio di luce solare per un'apertura assai stretta; ed alla distanza di 3 a 4 metri si guarda questa fessura attraverso un prisma di flint, affatto privo di strisce, tenendone gli spigoli paralleli ai lembi della fessura. Allora si scorge un gran numero di linee nere assai sottili, parallele agli spigoli del prisma e disposte a distanze fra loro molto ineguali.

Wollaston, pel primo, nel 1802, segnalò le righe dello spettro; ma fu Fraünhofer, celebre ottico di Monaco, che per il primo, nel 1815, le studiò con cura e ne diede una descrizione minuta, con un disegno preciso nel quale egli indica colle lettere dell'alfabeto A, *a*, B, C, D, E, *b*, F, G, H, le più appariscenti di queste righe che si designano ordinariamente sotto il nome di *righe di Fraünhofer*. La riga A trovasi al limite del rosso; B, nel mezzo; C, al limite del rosso e del ranciato; D, nel ranciato; E, nel verde, F, nel turchino; G, nell'indaco, e H, nel violetto. Vi sono ancora altre righe rimarchevoli quali la *a* nel rosso e la *b* nel verde. Colla luce solare queste righe hanno posizioni fisse, ciò che dà il mezzo di misurare con precisione l'indice di ciascun colore semplice. Negli spettri formati da una luce artificiale o con quella delle stelle, la posizione relativa delle righe è mutata; colla luce elettrica le righe oscure sono sostituite da righe brillanti. Colle fiamme colorate, o nelle quali si vaporizzano certe sostanze chimiche, le righe prendono delle tinte vive variabilissime. Finalmente, delle righe dello spettro, le une sono costanti di posizione e di splendore, tali sono le righe di Fraünhofer; ma fra le piccole righe, ve ne sono la cui presenza dipende dalla altezza del sole al disopra dell'orizzonte e dallo stato dell'atmosfera. Le righe fisse sono dovute al sole; quanto alle righe variabili,

si attribuiscono all'assorbimento dell' aria, e si designano col nome di *righe atmosferiche* o di *righe telluriche.*

Fraünhofer aveva contato nello spettro più di 600 righe più o meno larghe e oscure, inegualmente distribuite dal rosso fino al violetto. Davide Brewster ha portato il numero delle righe a 2000. Ricevendo i raggi rifratti successivamente attraverso diversi prismi analizzatori, non solamente si giunse oggidì a più di 3000 righe, ma varie che si riguardavano come semplici si sono disdoppiate.

494. **Applicazioni delle righe dello spettro.** — Dopo Fraünhofer, diversi fisici hanno continuato lo studio delle righe dello spettro. Fin dal 1822, John Herschel faceva osservare che le sostanze volatilizzate in una fiamma fornivano un mezzo sensibilissimo di riconoscere la presenza di tale o tal altro corpo dalla colorazione che esse davano alle righe dello spettro. In seguito, questi fenomeni sono stati successivamente studiati da Ed. Becquerel, Draper, Stokes, Wheatstone, Foucault, Masson, Angstroem, Plucker e Talbot; ma furono specialmente Kirchhoff e Bunsen, ad Heidelberg, che fecero conoscere l'importante applicazione che presentavano le righe dello spettro alla analisi chimica, constatando che tutti i sali di uno stesso metallo introdotti in una fiamma producono costantemente delle righe identiche di tinta e di posizione, mentre le righe mutano di tinta, di posizione e di numero per ciascun metallo; e che finalmente delle quantità infinitamente piccole di un metallo bastano per iscoprirne la presenza. Da ciò un nuovo processo di analisi che si designa col nome di *analisi spettrale.*

495. **Spettroscopio.** — Si dà il nome di *spettroscopio* all'apparecchio che hanno adottato Kirchhoff e Bunsen per istudiare lo spettro. Questo apparecchio è rappresentato dalla figura 366, come è stato modificato da Duboscq e Grandeau. Si compone di tre canocchiali montati su di un piede comune, e i cui assi convergono verso le facce di un prisma di flint P. Il solo canocchiale A può girare intorno al prisma. Lo si fissa con una vite di pressione *n* nella posizione che si vuol dargli. Il bottone *m* serve a *mettere al foco,* vale a dire a far avanzare o indietreggiare l'oculare, fino a che si veda nettamente l'immagine dello spettro (533); finalmente il bottone *s* dà il mezzo di inclinare più o meno il canocchiale.

Per far comprendere l'uso dei canocchiali B e C, consideriamo la figura 367 che rappresenta il cammino della luce in tutto l'apparecchio. I raggi emessi dalla fiamma G incontrano una prima lente *a* che li fa convergere in un punto *b,* il quale è il foco principale di una seconda lente *c.* Di conseguenza, è questo fascio parallelo che esce dal canocchiale B e che entra nel prisma. All' uscita da quest'ultimo, la luce è decomposta e i sette fasci dello spettro cadono sulla lente *x* che ne forma in *i* un'immagine reale e rovesciata. È finalmente quest' immagine che l'osservatore guarda con una lente *s,* la quale dà in *ss'* l'immagine virtuale dello spettro, con un ingrandimento di circa otto volte.

Quanto al canocchiale C, esso serve a misurare la distanza relativa delle righe dello spettro. Per ciò, alla sua estremità anteriore trovasi un micrometro diviso in 250 parti eguali. Per ottenere queste divisioni, si ha una lista di carta sulla quale è tracciata una scala di 250 millimetri, colla graduazione di 10 in 10; poi, col mezzo della fotografia, si prende di essa scala una immagine sul vetro, ridotta a 15 millimetri di lunghezza, e *negativa,* vale a dire che il micrometro ripro-

duce in chiaro, su fondo nero, l' immagine nera sul fondo bianco della scala. Il micrometro così costruito e posto all'estremità del tubo C, si trova corrispondere col foco principale di una lente e la quale, di

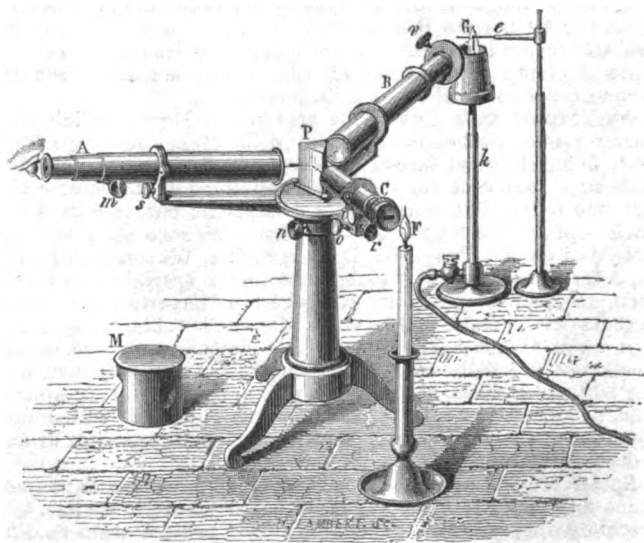



Fig. 366.

conseguenza, invia sul prisma un fascio parallelo. Ora, una porzione di questo fascio, essendo riflessa sulla faccia del prisma, è rinviata nel

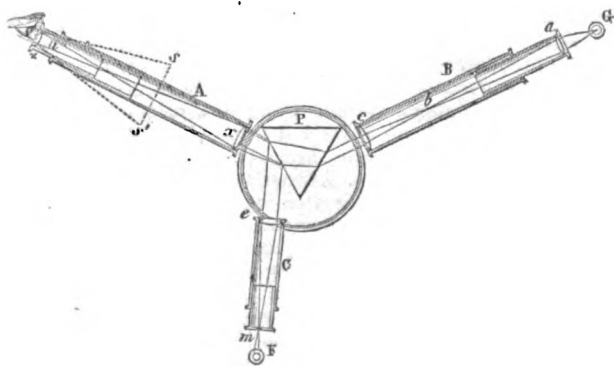
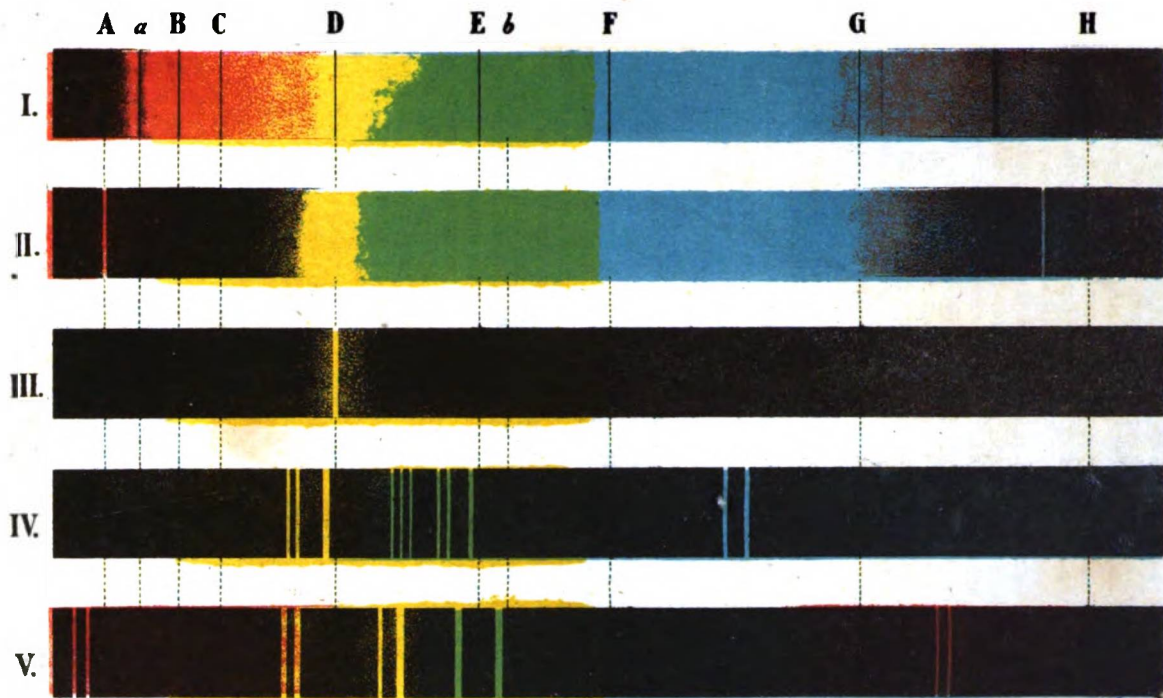



Fig. 367.

canocchiale A e vi produce in chiaro, sullo spettro stesso, una immagine perfettamente netta del micrometro, la quale dà il mezzo di misurare con precisione le distanze relative delle differenti righe.

Paris, propriété de l'Éditeur FRANÇOIS PAGNONI de Milan pour cette Editiòn et les successives.
Paris, 1864. A. Ganot.

Il canocchiale micrometrico, è inoltre munito di varie viti cui sono commessi diversi uffici *i*, *o*, *r*; la vite *i* serve a mettere al foco; *o* serve a spostare il micrometro lateralmente nel senso dello spettro; ed *r*, ad inclinare più o meno il canocchiale per innalzare od abbassare il micrometro.

Per completare la descrizione dello spettroscopio, ci rimane a descrivere l'apertura per la quale la luce della fiamma G entra nel canocchiale B. Essa consiste in una fenditura verticale stretta che si apre più o meno, mettendo in azione, col mezzo di una vite di pressione *v*, il pezzo *a* (fig. 368) che è mobile. Quando si vuol osservare simultaneamente due spettri per confrontarli fra loro, si dispone alla parte superiore della fenditura, un piccolo prisma *i* il cui angolo rifrangente è di 60 gradi. I raggi partiti da una fiamma H cadono normalmente su una delle facce del prisma, provano la riflessione totale sulla seconda ed escono perpendicolarmente alla terza, entrando nel canocchiale secondo una direzione parallela al suo asse. Poi una seconda fiamma G invia un secondo fascio, un po' al disotto del piccolo prisma, nella stessa direzione del primo; e questi due fasci traversano il prisma P dello spettroscopio (fig. 366) e vanno a formare due spettri orizzontali paralleli che si guardano col canocchiale A. Nelle fiamme G e H sonvi dei fili di platino *e*, *e'*. Questi fili sono stati intrisi preventivamente nelle dissoluzioni saline dei metalli sui quali si vuol esperimentare; oppure sopportano dei piccoli cristalli di questi sali, ed è vaporizzandosi che i metalli modificano la luce trasmessa e danno nascimento a tale o tal'altra riga.

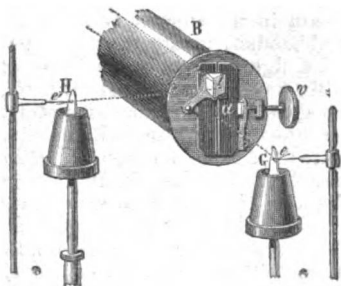



Fig. 368.

Ciascuna delle fiamme H e G è un becco di gas di illuminazione. L'apparecchio che gli alimenta è conosciuto sotto il nome di *lampada di Bunsen*. Il gas giunge per l'asta che è cava. Alla parte inferiore di quest'ultima trovasi un orifizio laterale destinato a lasciar entrare l'aria che deve bruciare il gas. Questo orifizio si chiude più o meno mediante un piccolo diaframma girante che fa l'ufficio di regolatore. Se si lascia entrare molta aria, il gas brucia con isplendore e fornisce uno spettro proprio che importa di evitare. Se si lascia passare minor quantità di aria, la fiamma perde del suo splendore e diviene turchina. In tal caso essa non dà più spettro; ma all'introdurvi un sale metallico allo stato di dissoluzione, o allo stato solido, lo spettro del metallo apparisce.

496. Esperienze collo spettroscopio. — La tavola colorata qui unita mostra alcuni spettri osservati mediante lo spettroscopio. La figura I rappresenta lo spettro solare.

La figura II è lo spettro del potassio. Esso è continuo, vale a dire contiene tutti i colori dello spettro solare; di più, è caratterizzato da due righe brillanti, l'una nell'estremo rosso, e corrispondente alla riga A di Fraünhofer; l'altra nell'estremo violetto.

La figura III dà lo spettro del sodio. Questo spettro non contiene nè rosso nè ranciato, nè verde, nè turchino, nè violetto; è caratteriz-

zato da una riga gialla brillantissima, che tiene esattamente il posto della riga D di Fraünhofer. Il sodio è fra tutti i metalli quello che possiede la maggior sensibilità spettrale. Infatti, si è constatato che $\frac{1}{3\,000\,000\,000}$ di grammo di sodio basta per far apparire la riga gialla del sodio. Così è difficile di evitare questa riga. Un po' di polvere sollevata in un appartamento la fa nascere; ciò che mostra come il sodio è abbondantemente sparso in natura.

La figura IV e V mostrano gli spettri del cesio e del rubidio, metalli nuovi scoperti da Kirchhoff e Bunsen, appunto col mezzo della analisi spettrale. Il primo si distingue per due righe turchine; il secondo per due righe rosse brillantissime e per due righe violette meno intense. Un terzo metallo, il tallio, è stato trovato mediante lo stesso metodo da Crookes, in Inghilterra, e nello stesso tempo, da Lamy in Francia. Il tallio è caratterizzato da una riga verde unica.

Il metodo spettrale si applica benissimo a tutti i metalli alcalini. Pei metalli delle altre sezioni, le esperienze diventano più difficili. Questi metalli non vaporizzandosi che a temperature elevatissime, bisogna ricorrere ad una sorgente di calore più intensa di quella che si ottiene con una lampada di Bunsen. In tal caso si fa uso della scintilla elettrica o dell'arco voltaico. Si ottengono così degli spettri perfettamente determinati; ma anche qui il metodo diventa complesso per il gran numero di righe brillanti che si ottengono. Col ferro, per esempio, si hanno 70 righe, e vari altri metalli ne danno presso a poco altrettante. Si concepisce che questa moltiplicità di righe presenta grandi difficoltà per distinguere certi metalli fra loro.

497. **Colori degli oggetti veduti attraverso ai prismi.** — Quando si guarda un corpo attraverso ad un prisma, le parti del suo contorno parallele agli spigoli del prisma sembrano colorate delle tinte dello spettro. Questo fenomeno dipende dalla diversa rifrangibilità dei raggi luminosi riflessi dal corpo. Guardando, per es., una lista assai stretta di carta bianca incollata sopra un cartone nero, attraverso a un prisma i cui spigoli sianle paralleli, questa lista sembra colorata di tutte le tinte dello spettro, e la tinta violetta è la più deviata verso il vertice del prisma. In questa esperienza, la luce bianca riflessa dalla lista di carta è decomposta al suo passaggio attraverso al prisma, e la tinta violetta che è la più rifrangibile, vien deviata più delle altre, per cui sembra rialzata.

Se la lista di carta, invece d'essere assai stretta, ha una certa larghezza, tutta la sua parte di mezzo rimane bianca, e soltanto i suoi lembi paralleli agli spigoli del prisma si scorgono colorati, i più vicini al vertice in violetto misto di turchino e di indaco, ed i più vicini alla base in rosso misto di ranciato e di giallo. Per ispiegare questo fenomeno bisogna immaginare la lista di carta divisa in una serie di liste parallele assai strette. Ciascuna di queste darà, come nel primo caso, uno spettro completo. Ora, il secondo spettro trovandosi un po' al disotto del primo, il terzo un po' al disotto del secondo, e così di seguito, ne risulta una sovrapposizione successiva di tutti i colori semplici, la quale produce il bianco; vicino ai lembi però, ove la sovrapposizione non è completa, restano isolati il violetto da una parte e il rosso dall'altra.

Il prisma fornisce il mezzo di analizzare il colore di un corpo. Per ciò si taglia dal corpo stesso una listarella stretta, che si fissa su di un fondo nero e si illumina fortemente. Guardandola allora alla distanza di uno a due metri con un prisma, la luce riflessa dal corpo è decomposta ne' suoi elementi, e si riconosce di quali colori semplici sia composto il colore proprio del corpo. In tal modo si constatò che il colore di tutti i corpi è composto. I petali dei fiori, per es., danno sempre uno spettro che presenta parecchi colori dello spettro solare.

498. **Aberrazione di rifrangibilità.** — Le diverse lenti descritte più sopra (477) hanno l'inconveniente di dare, quando siano ad una certa distanza dall'occhio, delle immagini i cui contorni sono iridescenti. Questo difetto che è sensibile specialmente nelle lenti convergenti, proviene dalla ineguale rifrangibilità dei colori semplici (488) e si chiama *aberrazione di rifrangibilità*. Infatti, le lenti potendo essere paragonate ad una serie di prismi a facce infinitamente piccole, riuniti colle loro basi, non solo rifrangono la luce, ma la decompongono ben anche come fanno i prismi. Da questa dispersione risulta che le lenti hanno realmente sette fochi distinti, uno per ciascun colore dello spettro. Nelle lenti convergenti, per es., i raggi rossi che sono i meno rifrangibili, formano il loro foco in un punto *r* posto sull'asse della lente (fig. 369), mentre i violetti, rifrangendosi di più, concorrono in un punto *v* più vicino. Tra questi due limiti si formano i fochi ranciato, giallo, verde, turchino ed indaco. L'aberrazione di rifrangibilità è tanto più sensibile quanto più le lenti sono convesse e quanto più lontano dall'asse è il punto d'incidenza dei raggi che le attraversano; perchè allora le facce d'incidenza e di emergenza sono più inclinate l'una relativamente all'altra. Ci rimane a far conoscere come si corregga l'aberrazione di rifrangibilità negli strumenti d'ottica.

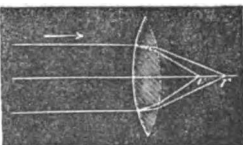



Fig. 369.

499. **Acromatismo.** — Combinando dei prismi di angoli rifrangenti differenti (470) e formati di sostanze disugualmente dispersive (487), si giunse a rifrangere la luce bianca senza decomporla. Lo stesso risultato si ottiene con lenti di sostanze diverse, le cui curvature siano convenientemente combinate. Siccome i contorni degli oggetti veduti attraverso a prismi o lenti cosifatte non appariscono più iridescenti, si dice che questi prismi e queste lenti sono *acromatiche,* e si chiama *acromatismo* il fenomeno della rifrazione della luce senza dispersione.

Osservando il fenomeno della dispersione dei colori con prismi d'acqua, d'essenza di trementina, di vetro-crown, Newton era stato condotto ad ammettere che la dispersione fosse proporzionale alla rifrazione. Egli ne avea conchiuso che non poteva esservi rifrazione senza dispersione, e per conseguenza che l'acromatismo era impossibile. Passò quasi mezzo secolo prima che si conoscesse l'errore di Newton. Hall, scienziato inglese, costrusse pel primo, nell'anno 1733, taluni canocchiali acromatici; esso però non pubblicò la sua scoperta. Fu Dollond, ottico di Londra, che, nel 1757, mostrò che sovrapponendo due lenti l'una biconvessa, di crown-vetro, e l'altra concavo-convessa, di flint (fig. 370), si otteneva una lente sensibilmente acromatica.

Per ispiegare questo risultato si immaginino due prismi BFC e CDF sovrapposti e collocati in senso contrario, come mostra la figura 371.

Se si suppone dapprima che questi prismi siano della stessa sostanza, siccome l'angolo rifrangente CFD del secondo è più piccolo dell'angolo rifrangente BCF del primo, si scorge che i due prismi produrranno lo stesso effetto di un prisma unico BAF; cioè la luce bianca che li attraversa non sarà soltanto deviata, ma ben anco decomposta. Al contrario, se il primo prisma BCF è di crown ed il secondo di flint, si

Fig. 370.

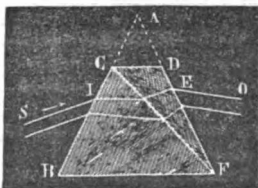



Fig. 371.

può distruggere la dispersione conservando la rifrazione. Infatti, essendo il flint più dispersivo del crown e la dispersione prodotta da un prisma decrescendo col suo angolo rifrangente (487), ne risulta che diminuendo convenientemente l'angolo rifrangente CFD del prisma di flint, relativamente all'angolo rifrangente BCF del prisma di crown, si possono rendere uguali le dispersioni di questi prismi, e siccome in conseguenza della loro disposizione, le dispersioni avvengono in sensi contrari, esse si compensano, cioè i raggi emergenti EO sono sensibilmente ridotti ad esser paralleli, e per conseguenza danno un po' di luce bianca. Tuttavia, siccome il rapporto degli angoli BCF e CFD, che producono, per es., il parallelismo de' raggi rossi e dei violetti non è quello opportuno pei raggi intermedi, ne segue che con due prismi non si possono realmente acromatizzare se non due raggi dello spettro. Per ottenere l'acromatismo perfetto si richiederebbero sette prismi di sostanze inugualmente dispersive ed i cui angoli rifrangenti fossero opportunamente determinati.

La rifrazione non è tolta insieme colla dispersione, perchè bisognerebbe a questo effetto che le facoltà relative dei corpi variassero, come aveva supposto Newton, nello stesso rapporto dei loro poteri dispersivi, il che non accade. Per conseguenza, il raggio emergente EO non esce parallelo al raggio incidente SI, ed avvi deviazione senza una sensibile decomposizione.

Le lenti acromatiche si formano con due lenti di sostanze inugualmente dispersive: l'una A, di flint, è concavo-convessa divergente (fig. 370); l'altra B, di crown-vetro, è biconvessa, ed una delle sue facce può coincidere esattamente colla faccia concava della prima. Nelle lenti, come nei prismi, si richiederebbero sette vetri per ottenere l'acromatismo perfetto; ma per tutti gli strumenti d'ottica si suol adoperarne due soli, dando loro la curvatura necessaria per acromatizzare i raggi rossi ed i gialli.

500. **Assorbimento della luce nei mezzi trasparenti.** — Non si conosce alcuna sostanza di perfetta trasparenza. Il vetro, l'acqua, l'aria stessa estinguono gradatamente la luce che li attraversa e, quando questi mezzi abbiano una grossezza sufficiente, la indeboliscono in modo che non agisce più sulla retina. Si osserva infatti che un gran numero di stelle le quali non sono visibili, anche quando il cielo è assai limpido, a chi trovasi in pianura, divengono visibili sulle alte montagne.

Questa perdita graduale che soffre la luce attraversando i mezzi diafani chiamasi *assorbimento;* esso è prodotto dalla riflessione che subisce la luce sulle molecole dei corpi trasparenti. Se tutti i raggi semplici fossero egualmente trasmissibili attraverso ai mezzi diafani, questi sarebbero incolori. Ora, ciò non accade mai; per cui si conchiude che, siccome i corpi diatermani non si lasciano attraversare ugualmente dai diversi raggi calorifici (397), così i corpi diafani lasciano passare più facilmente certi raggi luminosi che certi altri. Il mezzo prende allora il colore pel quale è il più diafano. Per questo motivo uno strato d'aria assai grosso sembra turchino; una lastra di vetro piuttosto grossa sembra verde. Il vetro colorato in rosso col protossido di rame lascia passare i soli raggi rossi ed assorbe tutti gli altri, anche quando sia sottile.

Del resto, per vari mezzi trasparenti, la colorazione varia colla grossezza. Per esempio, il percloruro di cromo che è verde a lieve grossezza, diventa rosso intenso a grossezza maggiore. Si chiamano *policroiche* le sostanze la cui tinta varia così colla grossezza. Si spiega il fenomeno ammettendo che l'assorbimento non è lo stesso pei sette colori semplici.

Per effetto dell'assorbimento i raggi del sole sono meno intensi quando quest'astro trovasi all'orizzonte che quando è allo zenit, perchè, nel primo caso, la grossezza dello strato d'aria è molto maggiore.

CAPITOLO V.

ISTRUMENTI D'OTTICA

501. Diversi istrumenti d'ottica. — Si chiamano *istrumenti d'ottica* certe combinazione di lenti, o di lenti e di specchi; questi strumenti si ponno dividere in tre classi, secondo gli usi a cui sono destinati: 1.° gli strumenti che hanno per iscopo solo di amplificare le immagini di quei corpi che, per le loro piccole dimensioni, non possono essere veduti ad occhio nudo, e sono i *microscopii;* 2.° gli strumenti che servono ad osservare gli astri o gli oggetti assai lontani, e sono i *telescopii* ed i *canocchiali;* 3.° gli strumenti atti a produrre su di un diaframma, delle immagini impicciolite od ingrandite, le quali ponno venir utilizzate nell'arte del disegno, od essere mostrate ad un gran numero d'osservatori; tali sono: la *camera chiara*, la *camera oscura*, il *daguerrotipo*, la *lanterna magica*, la *fantasmagoria*, il *megascopio*, il *microscopio solare* ed il *microscopio foto-elettrico*. Le prime due classi danno soltanto immagini virtuali, e la terza solo immagini reali, quando se ne eccettui la *camera chiara*.

STRUMENTI CHE INGRANDISCONO L'IMMAGINE DEGLI OGGETTI

502. Microscopio semplice. — I *microscopii*, come si è già detto, sono strumenti destinati ad aumentare la potenza della vista ingrandendo l'immagine degli oggetti. Se ne distinguono due: il *microscopio semplice* e il *microscopio composto*.

Il *microscopio semplice* o *lente*, è semplicemente una lente convergente a corto foco, colla quale si guardano gli oggetti posti al di qua del suo foco principale. Quantunque abbiamo già data la costruzione dell'immagine così ottenuta (481), la ripetiamo qui per aggiungervi alcuni dettagli.

L'oggetto AB che si vuol osservare, essendo situato tra la lente e il suo foco principale F (fig. 378), si conducono gli assi secondari AO

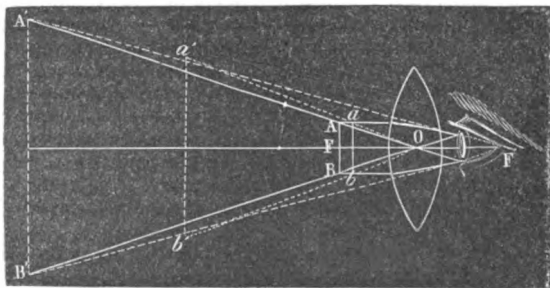



Fig. 372.

e BO; poi, dai punti A e B, dai raggi paralleli all'asse. Ora, si è veduto (478, 2.°) che alla loro uscita dalla lente questi raggi vanno a passare per il secondo foco F', e che, uscendo divergenti per riguardo agli assi secondari, i loro prolungamenti vanno ad intersecare questi ultimi in due punti A' e B' che sono i fochi virtuali dei punti A e B. Si ha dunque in A'B' l'immagine diritta, virtuale e ampliata dell'oggetto AB.

La posizione e la grandezza di questa immagine non sono punto fisse; esse variano colla distanza dell'oggetto dal foco. Per esempio, l'oggetto approssimandosi alla lente, l'angolo degli assi secondari aumenta e i raggi rifratti, prolungati, li tagliano in *a'b'*.

L'immagine è dunque più piccola e approssimata. Al contrario, se l'oggetto si allontana dalla lente, l'angolo degli assi secondari diminuisce, e la loro intersezione coi prolungamenti dei raggi rifratti avendo luogo al di là di A'B', l'immagine è più lontana e più grande. Si può dunque sempre, facendo variare la distanza della lente dall'oggetto, allontanare od avvicinare l'immagine. Si vedrà fra breve (503) che è mediante questa proprietà che si ottiene la nettezza delle immagini nei microscopii e nei canocchiali.

Le aberrazioni di rifrangibilità e di sfericità sono tanto maggiori nel microscopio semplice, quanto maggiore è il suo ingrandimento. Si è già veduto (499) che l'aberrazione di rifrangibilità si corregge mediante lenti acromatiche, e quella di sfericità, mediante diaframmi che non lasciano passare che i raggi vicini all'asse, raggi pei quali l'aberrazione di sfericità è trascurabile (485). Si corregge ancora questo genere di aberrazione facendo uso, non più di una sola lente convergentissima, ma di due lenti piano-convesse sovrapposte, le loro facce piane essendo vôlte verso l'oggetto che si guarda (fig. 373). Quantunque ciascuna di queste lenti sia meno convessa della lente semplice

che esse sostituiscono, il loro sistema ingrandisce ugualmente, ma con un'aberrazione minore; giacchè la prima avvicina all'asse i raggi che

Fig. 373.

cadono sulla seconda. Questo sistema di lenti è conosciuto sotto il nome di *pariglia di Wollaston.*

Per facilitare l'impiego del microscopio semplice, Raspail gli diede la disposizione rappresentata dalla figura 374. Un sostegno orizzontale, che può innalzarsi od abbassarsi mediante un'asta dentata e una vite a bottone D, porta un *occhiello* nero A, al centro del quale è fissata una lente *o* più o meno convessa. Al disotto trovasi il *porta-oggetti* B che è fisso, e sul quale tra due lamine di vetro C, è situato l'oggetto che si vuol osservare. Siccome è necessario che l'oggetto sia fortemente rischiarato, si riceve la luce diffusa nell'atmosfera su di uno specchio concavo di vetro M, che si inclina in modo che i raggi riflessi vengano a cadere sull'oggetto. Per servirsi di questo microscopio, si dispone l'occhio molto vicino alla lente, che si abbassa verso l'oggetto o si eleva fino a che si trovi la posizione in cui l'immagine apparisce con maggior nettezza.

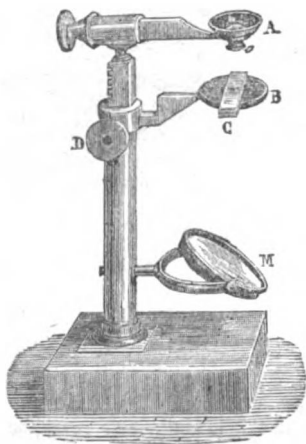



Fig. 374.

503. **Condizioni di nettezza delle immagini.** — Perchè l'immagine degli oggetti che si guardano presenti una grande nettezza, non basta che questi oggetti siano fortemente rischiarati da uno specchio concavo, come nel microscopio di Raspail (fig. 374), ma bisogna ancora che l'immagine si formi ad una distanza determinata. Infatti, si vedrà, trattando della visione (533), che v'è una distanza alla quale l'occhio vede più nettamente che a qualunque altra, e che a causa di ciò si designa col nome di *distanza della visione distinta.* Essa varia cogli individui; ma per un occhio ben conformato, è compresa nei limiti di 25 a 30 centimetri. È dunque a circa 25 a 30 centimetri dall'occhio che deve formarsi l'immagine. Da che si scorge che per ciascun osservatore bisogna *mettere al punto,* vale a dire adattare il microscopio alla distanza della vista distinta di colui che osserva. Ora, è quanto si ottiene sempre facendo variare pochissimo la distanza della lente dall'oggetto; giacchè si è veduto precedentemente (fig. 372) che un leggero spostamento dell'oggetto ne imprime uno grandissimo all'immagine. Col microscopio che si tiene in mano, si ottiene immediatamente questo ri-

sultato, allontanandola od approssimandola all'oggetto. Nel microscopio di Raspail (fig. 374) e nel microscopio composto (fig. 379), le lenti essendo fisse, è l'oggetto che si allontana o si avvicina, facendo muovere il porta-oggetti. Tutto quanto si è detto riguardo al *mettere al punto* i microscopii, si applica ai canocchiali e ai telescopii; si vedrà come vi si giunge, trattando di questi strumenti.

504. **Diametro apparente.** — Si chiama *grandezza apparente* o *diametro apparente* di un corpo, l'angolo sotto il quale lo si vede, vale a dire l'angolo AOB (fig. 375) formato dai due raggi visuali condotti dal centro della pupilla alle due estremità di una stessa dimensione del corpo.

Fig 375.

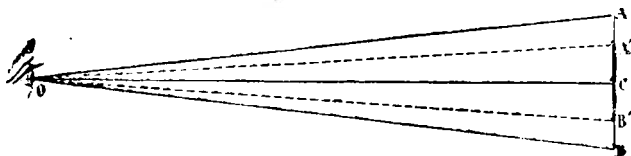
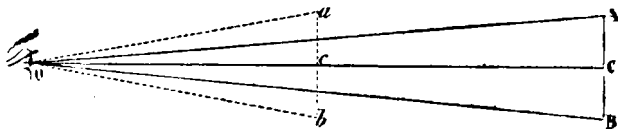



Fig. 376.

Nelle applicazioni dei diametri apparenti agli istrumenti di ottica, gli angoli sotto i quali si vedono gli oggetti sono sempre abbastanza piccoli perchè si possa, agli archi che misurano questi angoli, sostituire le loro tangenti. Il rapporto di due angoli è in tal caso lo stesso delle loro tangenti. Ciò posto, derivano i due principii seguenti:

I. — *Per uno stesso oggetto, veduto a distanze ineguali, il diametro apparente è in ragione inversa della distanza dall'occhio dell'osservatore.*

II. — *Per due oggetti, veduti alla stessa distanza, il rapporto dei diametri apparenti è lo stesso di quello delle loro grandezze assolute.*

Vedremo fra poco l'applicazione di questi principii alla misura dell'ingrandimento negli strumenti di ottica.

Per dimostrarli teoricamente, supponiamo che l'oggetto AB (fig. 375) sia trasportato in ab, ad una distanza tale che Oc sia la metà di OC. Secondo un teorema conosciuto di trigonometria, i due triangoli rettangoli ACO e acO forniscono le equazioni

$$tang\ AOC = \frac{AC}{CO},\ e\ tang\ aOc = \frac{ac}{cO}.$$

Ora ac = AC e cO $= \frac{CO}{2}$; dunque *tang* aOc è doppia di *tang* AOC, e, di conseguenza, l'angolo aOc è doppio di AOC; da che si scorge che ad una distanza eguale alla metà, il diametro apparente è doppio. Si troverebbe ugualmente che ad una distanza eguale ad $\frac{1}{3}$, è triplo; ciò che dimostra il primo principio.

Per dimostrare il secondo, siano due oggetti AB e A'B' (fig. 376) situati alla stessa distanza dell'osservatore, e supponiamo l'occhio posto su di una retta OC perpendicolare al mezzo di AB. Se si prende OC per unità, le rette AC e A'C rappresentano immediatamente le tangenti degli angoli AOC e A'OC; si ha dunque, secondo quanto è stato detto più sopra, $\frac{AOC}{A'OC} = \frac{AC}{A'C}$ o, sdoppiando i due termini di ciascun rapporto, $\frac{AOB}{A'OB'} = \frac{AB}{A'B'}$, eguaglianza che è l'espressione del secondo principio annunciato più sopra.

505. **Misura dell'ingrandimento.** — Nel microscopio semplice e nei diversi strumenti di ottica, si prende per misura dell'ingrandimento, il rapporto tra il diametro apparente dell'immagine e il diametro apparente dell'oggetto, supposti situati ambedue alla stessa distanza, quella della visione distinta. Ma, in ciascun istrumento, importa di cercare una espressione dell'ingrandimento più facile a determinarsi.

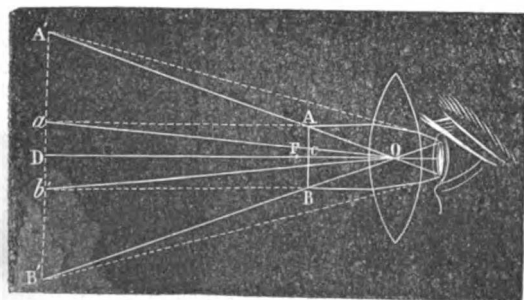



Fig 377.

Considerando dapprima il microscopio semplice, siano AB l'oggetto che si osserva e A'B' la sua immagine (fig. 377). Se si proietta AB su A'B', in ab, l'ingrandimento, secondo la definizione che precede, è il rapporto dei due angoli A'OB' e aOb. Ora, si è veduto (504) che $\frac{A'OB'}{aOb} = \frac{A'B'}{ab} = \frac{A'B'}{AB}$ [1], poichè $ab = AB$; ma A'B' è la grandezza assoluta dell'immagine e AB quella dell'oggetto; dunque si può anche dire che, nel microscopio semplice, *l'ingrandimento è il rapporto tra la grandezza dell'immagine e quella dell'oggetto.*

Ciò posto, i due triangoli simili A'OB' e AOB forniscono l'eguaglianza $\frac{A'B'}{AB} = \frac{OD}{OC}$, nella quale OD è la distanza della visione distinta d, e OC approssimativamente la distanza focale f della lente; si può dunque stabilire $\frac{A'B'}{AB} = \frac{d}{f}$; vale a dire che nel microscopio semplice si ha per valore approssimativo dell'ingrandimento *il rapporto*

della distanza della visione distinta colla distanza focale principale della lente. D'onde si conchiude che l'ingrandimento è tanto maggiore: 1.° quanto più la lente è a foco corto, vale a dire quanto più essa è convergente; 2.° quanto più la distanza della visione distinta dell'osservatore è maggiore.

Lenti di ricambio permettono di variare l'ingrandimento, ma in certi limiti, se si vuol conservare all'immagine tutta la sua nettezza: col microscopio semplice, si ottiene un ingrandimento nettissimo fino a 120 volte in diametro.

L'ingrandimento che si è considerato è l'ingrandimento in diametro, ossia l'ingrandimento *lineare*. L'ingrandimento *superficiale* uguaglia il quadrato dell'ingrandimento lineare. Per esempio, se quest'ultimo è 40, l'ingrandimento superficiale è 1600.

506. **Microscopio composto** — Il *microscopio composto*, ridotto al suo massimo grado di semplicità, è formato di due vetri lenticolari convergenti, l'uno a corto foco, chiamato *obbiettivo*, perchè rivolto verso l'oggetto; l'altro, meno convergente, che si chiama *oculare*, perchè sta presso all'occhio dell'osservatore.

La figura 378 rappresenta il cammino dei raggi luminosi e la formazione dell'immagine nel microscopio composto ridotto a due sole lenti.

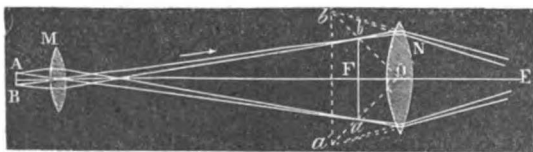



Fig. 378.

Un oggetto AB essendo situato vicinissimo al foco principale dell'obbiettivo M, ma un po' al di là riguardo a questa lente, un'immagine *ab* reale, rovesciata e già ampliata, si forma dall'altro lato dell'obbiettivo (481, 1.°). Ora, la distanza delle due lenti M e N è tale, che il luogo dell'immagine *ab* si trova fra l'oculare N e il suo foco F. Risulta da ciò che per l'occhio posto in E che guarda questa immagine coll'oculare, quest'ultima lente produce l'effetto del microscopio semplice o lente (481, 2.°) e sostituisce all'immagine *ab* una seconda immagine *a'b'*, virtuale e nuovamente ampliata. Questa seconda immagine diritta riguardo alla prima, è rovesciata riguardo all'oggetto. Si può dunque dire, in ultima analisi, che il microscopio composto non è altro che un microscopio semplice applicato non più all'oggetto, ma alla sua immagine già ampliata da una prima lente.

507. **Microscopio composto di Amici.** — Non abbiamo fatto conoscere fin qui che il principio del microscopio composto; ci rimane a descrivere l'apparecchio e i suoi accessori. Inventato verso la fine del secolo XVI, ha subito successivamente numerosi perfezionamenti. I più importanti non datano che da una quarantina di anni, e sono principalmente dovuti ad Amici, in Italia, e a Carlo Chevalier, in Francia.

La figura 379 rappresenta, nelle sue parti essenziali, il microscopio conosciuto sotto il nome di *microscopio di Amici* o *microscopio di Carlo Chevalier*. Negli antichi microscopii, il tubo H, nel quale trovasi l'oculare,

era sempre verticale e le lenti non erano acromatiche. Fu Amici, che per il primo, adottò una disposizione che permette di disporre il tubo orizzontalmente o verticalmente a volontà, e fu Carlo Chevalier, il primo che, nel 1823, applicò le lenti acromatiche al microscopio. La figura 379 rappresenta il microscopio nella posizione orizzontale che

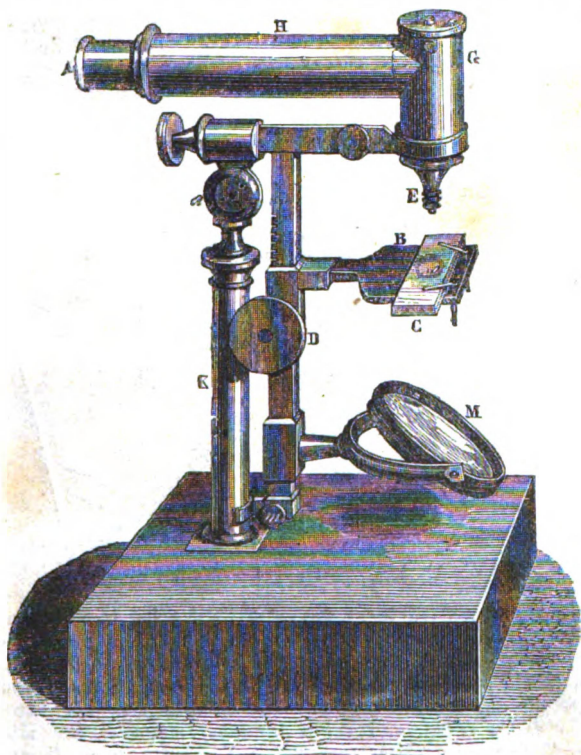



Fig. 379 (a. = 25).

affatica meno la vista; ma può anche disporsi verticalmente. Per ciò, il tubo curvato G si toglie e il grande tubo H, che porta l'oculare, si monta al suo posto sull'obbiettivo E. Finalmente, si può ancora dare al microscopio una posizione inclinata. A questo scopo, si ritira il bottone *m* che ferma l'apparecchio alla sua parte inferiore e si fa muovere tutto il sistema su di una cerniera *a* che collega il microscopio con una colonna cilindrica che gli serve di sostegno.

Su di un'asta rettangolare parallela a questa colonna trovasi il *porta-oggetti* B. Quest'ultimo può innalzarsi ed abbassarsi mediante un piccolo rocchetto che ingrana in un'asta dentata, e che si fa girare mediante il bottone D. L'oggetto *o* che si vuol osservare è situato fra

due lamine di vetro C poste sul porta oggetti. Uno specchio concavo M di vetro, riceve la luce diffusa dell'atmosfera e la riflette sull'oggetto, il quale si trova così fortemente rischiarato; condizione indispensabile per l'ingrandimento. Il porta-oggetti ha al suo centro un'apertura che si scorge attraverso alle lamine C e che lascia passare la luce riflessa dallo specchio. Gli è abbassando od elevando lentamente il porta-oggetti che si giunge a mettere al punto il microscopio, vale a dire che si imprime all'immagine reale *bc* un leggero spostamento (fig 378) fino a che l'immagine virtuale *b'c'* si formi alla distanza della visione distinta (503).

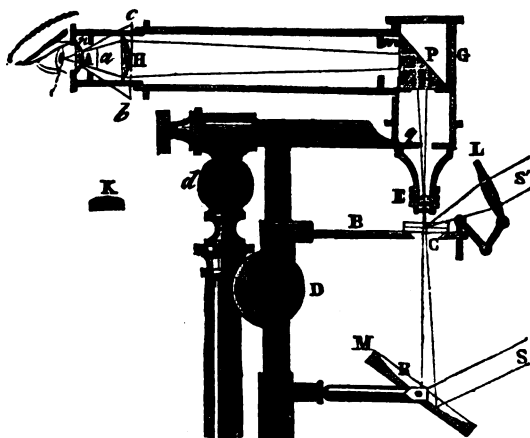



Fig. 380.

La figura 380 mostra la posizione delle lenti e la via che seguono i raggi nel microscopio. L'obbiettivo E è formato da una, da due o da tre lenti acromatiche, come quella che è rappresentata in K, le cui distanze focali principali sono di 8 a 10 millimetri circa. L'oculare AH è formato da due lenti piano-convesse. Quanto alla via che vi tiene la luce, è facile seguirla. I raggi luminosi, dopo essersi riflessi sullo specchio M, vanno a concorrere verso l'oggetto e di là si dirigono verso l'obbiettivo E. Dopo averlo attraversato essi incontrano un prisma rettangolare P. di cristallo, sull'ipotenusa del quale subiscono la riflessione totale (467). Prendendo allora la direzione del tubo GA, i raggi luminosi vanno a cadere sulla lente H e formano al di là della medesima un'immagine *a* reale e ampliata dell'oggetto *o*. L'ultima lente agisce in seguito come microscopio semplice per sostituire a questa prima immagine una seconda immagine *bc* virtuale e ancora ampliata, come mostra la figura.

Il modo di illuminazione del microscopio varia secondo che l'oggetto è trasparente od opaco. Nel primo caso, si rischiara l'oggetto, come si è detto sopra, mediante uno specchio posto al disotto del porta-oggetti; nel secondo, si fa uso di una lente L sostenuta dal porta-oggetti, e che concentra i raggi S sull'oggetto.

Finalmente l'apparecchio possiede più oculari e diversi obbiettivi di ricambio, ciò che permette di aumentare o diminuire l'ingrandimento. Si ottiene pure un ingrandimento più piccolo sopprimendo una o due lenti dell'obbiettivo.

508. **Acromatismo del microscopio, oculare di Campani.** — Nel microscopio composto, ridotto a due lenti, come si è supposto nella fig. 378, non solamente si produrrebbe una energica aberrazione di sfericità, ma le immagini sarebbero iridescenti ai lembi per un effetto di dispersione (498), e lo sarebbero tanto più quanto più il microscopio ingrandisse. Gli è per correggere questa aberrazione che l'obbiettivo e l'oculare non sono semplici, ma composti da più lenti, come lo rappresenta la figura 380, nella quale non solamente l'obbiettivo è formato da tre piccole lenti acromatiche, ma l'oculare si compone da due lenti *n* ed *m*, di cui la prima sola basta a produrre l'acromatismo, quando il microscopio non ingrandisce molto.

Infatti, siano *ab* l'oggetto che si osserva, O l'obbiettivo ed O′ l'oculare (fig. 381), e supponiamo che la lente *n* non sia ancora interposta fra loro. I raggi partiti dal punto *b*, per esempio, essendo più o

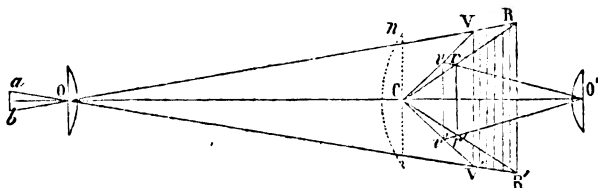



Fig. 381.

meno dispersi al loro passaggio per l'obbiettivo, i raggi rossi vanno a formare il loro foco in R sull'asse secondario del punto *b*; mentre i raggi violetti, più rifrangibili, vanno a concorrere in V, più vicini alla lente; poi i cinque altri fasci dello spettro tra R e V. Se si riguarda attualmente attraverso l'oculare O′, le sette zone colorate VRV′R′, i colori si sovrappongono nella parte centrale, e questa appar bianca, mentre i lembi sono colorati in rosso e in ranciato; ma si interponga la lente *n* e la colorazione è tolta. Infatti, avendo condotti gli assi secondari CR, CR′, CV e CV′, si sa che uscendo dalla lente *n*, i raggi rossi andranno a formare il loro foco in *r*, sull'asse secondario CR e i raggi violetti in *v*, più vicino alla lente. Ora, combinando convenientemente le curvature delle lenti *n* e O′, sempre conservando all'ultima una tale distanza che l'immagine si faccia sempre alla distanza della visione distinta, si giunge ad ottenere che i fochi *v* e *r* siano in linea retta col centro ottico dell'oculare. Gli altri fasci colorati formando d'altronde i loro fochi molto sensibilmente sulla linea *vr*, quando si guardano attraverso l'oculare i sette fasci, questi essendo veduti sotto lo stesso angolo, vi ha ricomposizione di luce e cessa qualunque colorazione.

La lente *n*, che si chiama *lente di campo* od *oculare di Campani* produce dunque l'acromatismo. Di più, approssimando i raggi all'asse, diminuisce l'aberrazione di sfericità; finalmente aumenta anche il *campo* del microscopio come stiamo per dire.

509. **Campo negli istrumenti di ottica.** — Nel microscopio e negli altri strumenti di ottica, il *campo* è lo spazio angolare nel quale sono compresi tutti i punti visibili attraverso all'oculare. È limitato dalla superficie conica che ha per vertice il centro ottico dell'obbiettivo, e per base l'apertura del diaframma *pq* posto davanti all'oculare (fig 382). Prolungando questa superficie dall'altro lato dell'obbiettivo, in *aob*, si determina qual è la parte visibile dell'oggetto AB, ossia il *campo*.

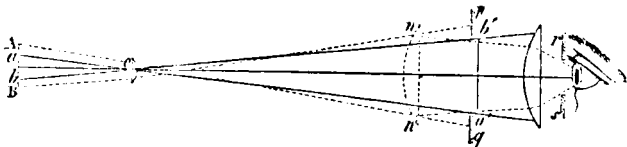



Fig. 382.

L'oggetto avendo una certa estensione, la figura mostra che non se ne vede che una parte finchè la lente *n* non è interposta; ma se si aggiunga quest'ultima, dei raggi come B*op* che erano intercettati dal diaframma, sono deviati verso l'oculare, e il punto B che non era visibile, lo diventa; da cui si scorge che l'oculare di Campani ingrandisce il campo.

La grandezza del campo varia coll'apertura del diaframma e colla sua distanza dall'obbiettivo. Più questa distanza è grande e più il campo è piccolo. Esso diminuisce anche quando l'ingrandimento aumenta; poichè quanto più l'oculare è convergente, tanto più il suo diametro è piccolo e più piccolo il fascio che lo traverso. Finalmente la posizione dell'occhio ha essa pure influenza sull'estensione del campo. Infatti, alla loro uscita dall'oculare, vi ha un punto in cui i raggi vanno a convergere, è il *punto oculare*. Ora, è là che deve essere situato l'occhio per abbracciare tutto il campo. Più vicino o più lontano non riceverebbe che una parte dei raggi uscenti dallo strumento. Per fissare la posizione dell'occhio, si dispone avanti all'oculare un *occhiello* nero *rs*, forato di una apertura centrale, in modo che l'occhio posto davanti a questa apertura si trovi appunto nel puuto oculare.

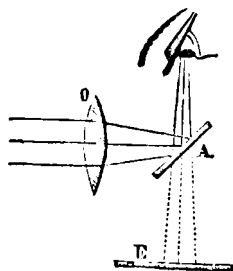
510. **Ingrandimento del microscopio composto, micrometro.** — Nel microscopio composto, come nel microscopio semplice, l'ingrandimento è il rapporto tra il diametro apparente dell'immagine e il diametro apparente dell'oggetto, supposti situati l'uno e l'altro alla stessa distanza, quella della visione distinta; o, ciò che vale lo stesso (504, principio II), l'ingrandimento è *il rapporto della grandezza assoluta dell'immagine a quella dell'oggetto.*

È facile conoscere che questo ingrandimento è il prodotto dell'ingrandimento dell'obbiettivo per quello dell'oculare. Infatti, se si esamina la figura 378, l'ingrandimento dell'obbiettivo è $\frac{ab}{AB}$, e quello dell'oculare $\frac{a'b'}{ab}$. Ora il prodotto di $\frac{ab}{AB}$ per $\frac{a'b'}{ab}$ è $\frac{a'b'}{AB}$ che è appunto l'ingrandimento totale.

Appoggiandosi sui principii relativi ai diametri apparenti (504), si potrebbe esprimere l'ingrandimento $\frac{a'b'}{AB}$ in funzione delle distanze focali dell'obbiettivo e dell'oculare, e delle distanze dell'oggetto e dell'immagine da queste due lenti; ma l'ingrandimento non potrebbe calcolarsi così che con molta pena e poca precisione; ragione per cui si preferisce di determinarlo esperimentalmente.

L'ingrandimento lineare si misura esperimentalmente col mezzo del *micrometro*. Si chiama con tal nome una piccola lamina di vetro sulla quale sono tracciati, col diamante, dei tratti paralleli, distanti gli uni dagli altri di $\frac{1}{100}$ di millimetro. Il micrometro si dispone avanti l'obbiettivo, al posto dell'oggetto; poi invece di ricevere direttamente nell'occhio i raggi che emergono dall'oculare O, si ricevono su di una lamina di vetro a facce parallele A (fig. 383), inclinata di 45 gradi; e si dispone l'occhio al disopra, in modo da vedere l'immagine dei tratti del micrometro formarsi, per riflessione, su una scala divisa in millimetri che è tracciata su di uno schermo E. Contando allora il numero di divisioni della scala che corrisponde ad un certo numero di tratti dell'immagine, se ne deduce l'ingrandimento. Per esempio, se l'immagine occupa, sulla scala, 45 millimetri e comprende 15 tratti del micrometro, supponendo che l'intervallo di questi ultimi sia di $\frac{1}{100}$ di millimetro, la grandezza assoluta dell'oggetto sarà di $\frac{15}{100}$ di millimetro, e quella della immagine essendo di 45 millimetri, l'ingrandimento sarà il quoto di 45 per $\frac{15}{100}$, ossia 300. In questa esperienza, l'occhio deve essere allontanato dallo schermo E di una distanza eguale a quella della visione distinta, distanza che varia da un osservatore ad un altro, ma che, come si è già veduto, è di 25 a 30 centimetri. L'ingrandimento del microscopio si determina anche col mezzo della camera chiara che sarà descritta più tardi (517).

Fig. 383.

Una volta conosciuto l'ingrandimento di un microscopio, è facile dedurne la grossezza assoluta degli oggetti situati avanti l'obbiettivo. Infatti, l'ingrandimento essendo il quoto della grandezza dell'immagine per la grandezza dell'oggetto, ne consegue che per avere la grandezza di quest'ultimo non si ha che dividere la grandezza dell'immagine per l'ingrandimento: così si può trovare, per esempio, il diametro dei globuli del sangue e, in generale, di tutti gli oggetti microscopici. L'ingrandimento è stato portato fino a 1500 in diametro ed anche di più; ma in tal caso l'immagine perde in chiarezza quanto essa guadagna in estensione. Per ottenere delle immagini nette e ben chiare, l'ingrandimento lineare non deve sorpassare 500 a 600.

511. Applicazioni del microscopio. — Il microscopio è stato la sorgente delle scoperte più curiose in botanica, in zoologia, in fisiologia. Animali, la cui esistenza era fino allora rimasta incognita, sono stati osservati nell'aceto, nella pasta di farina, nelle frutta secche, in alcuni formaggi; la circolazione e i globuli del sangue sono divenuti visibili.

Il microscopio offre anche numerose applicazioni nell'industria. Per esempio, dà il mezzo di conoscere le diverse specie di fecule, le falsificazioni pur troppo sovente delle farine, della cioccolata, ecc.; permette anche di constatare nelle stoffe la presenza del cotone, della lana, della seta.

ISTRUMENTI CHE APPROSSIMANO GLI OGGETTI

512. Canocchiale astronomico. — Il *canocchiale astronomico* è destinato all'osservazione degli astri; esso è composto, come il microscopio, di un obbiettivo e d'un oculare convergenti. L'obbiettivo M (fig. 384)

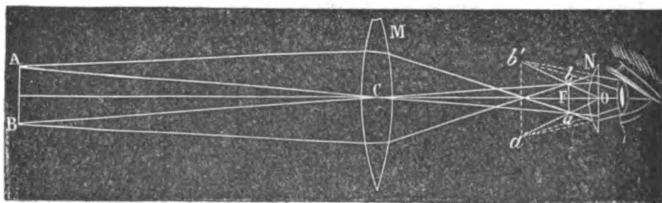



Fig. 384.

dà un'immagine rovesciata *ab* dell'astro che si osserva, collocata tra l'oculare N ed il suo foco principale, e quest'oculare che fa l'effetto di un microscopio semplice, dà in seguito una immagine *a'b'* virtuale, diritta ed assai ingrandita dell'immagine *ab*. Il canocchiale astronomico ha, come si vede, molta analogia col microscopio; ma ne differisce perchè, in quest'ultimo, trovandosi l'oggetto assai vicino all'obbiettivo, l'immagine si forma molto al di là del foco principale ed è assai ingrandita, di modo che l'ingrandimento è prodotto dall'obbiettivo e dall'oculare; mentre invece nel canocchiale astronomico, essendo l'astro che si osserva assai lontano, i raggi incidenti sono paralleli e l'immagine si forma al foco principale dell'obbiettivo, molto più piccola dell'oggetto. L'ingrandimento quindi non può essere prodotto che dall'oculare; il qual vetro per ciò deve essere assai convergente.

La figura 385 rappresenta un canocchiale astronomico montato su di un piede. Esso si compone di un lungo tubo di ottone, annerito all'interno, onde distruggere qualunque riflessione che rimanderebbe verso l'oculare altri raggi che non siano quelli che vengono dall'astro che si osserva. All'estremità la più larga trovasi l'obbiettivo, che è a grande diametro ed acromatico. All'altra estremità trovasi un tubo *m*, corto e di piccolo diametro, nel quale è fisso l'oculare. Questo tubo può entrare più o meno nel tubo principale; ciò che dà il mezzo di avvicinare o di allontanare l'oculare dall'immagine reale *ab* fornita dall'obbiettivo (fig. 384). Si ottiene così la messa al punto portando alla distanza della

visione distinta l'immagine virtuale $a'b'$. Pei presbiti si fa entrare molto l'oculare, mentre pei miopi lo si ritrae. Quanto alla composizione dell'oculare, essa è la stessa come nel microscopio composto (fig. 380): una

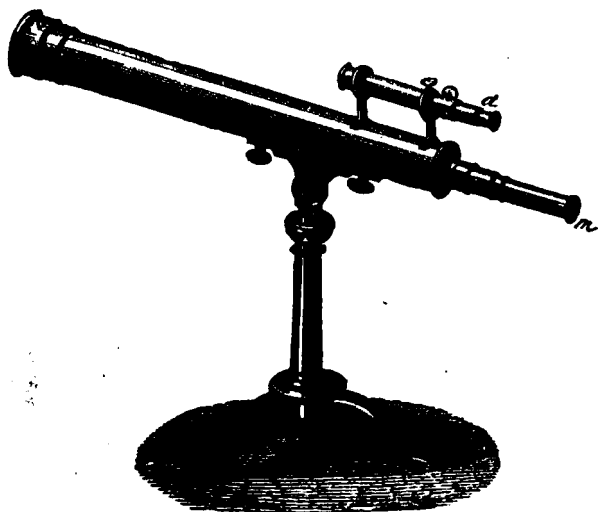



Fig. 385.

prima lente fa l'ufficio di oculare di Campani, e una seconda quella di microscopio semplice. L'immagine che si ottiene nel canocchiale è rovesciata, ma ciò non presenta alcun inconveniente per l'osservazione degli astri.

Al disopra del tubo principale trovasi un piccolo canocchiale *a* che si chiama *cercatore*. I canocchiali di un gran potere amplificante, avendo poco campo, non sono di un uso comodo per cercare un astro; quindi si guarda dapprima col cercatore, il quale ingrandisce meno, ma che ha maggior campo; poi si osserva in seguito col canocchiale.

Quando il canocchiale astronomico è impiegato ad osservare gli astri, per misurare con precisione, per esempio, la loro distanza zenitale, la loro ascensione retta, o il loro passaggio al meridiano, vi si aggiunge un *reticolo*. Si dà questo nome a due fili finissimi di platino o di seta, tesi in croce su di un'apertura circolare praticata in una piccola lamina metallica (fig. 386). Il reticolo deve essere posto nel luogo stesso in cui si produce l'immagine rovesciata data dall'obbiettivo, e il punto di incrociamento dei fili deve trovarsi sull'asse ottico del canocchiale che diventa così la *linea di mira*.

Fig. 386.

Il canocchiale astronomico non ingrandisce in realtà, giacchè le immagini che esso dà degli astri sono sempre estremamente piccole riguardo a questi ultimi; ma esso *avvicina* facendo vedere gli astri sotto un diametro apparente maggiore, come accadrebbe se la distanza

dell'astro dall'osservatore diminuisse. Tuttavia si dà ancora il nome di ingrandimento al rapporto del diametro apparente sotto il quale si vede l'astro nel canocchiale con quello sotto il quale lo si vede ad occhio nudo. Di conseguenza, considerando la figura 384, l'ingrandimento è rappresentato dal rapporto dell'angolo $b'Oa'$ o bOa, sotto il quale si vede l'immagine, coll'angolo bCa = ACB, sotto il quale si vede l'astro ad occhio nudo; perocchè è evidente che, tenuto conto della distanza dell'astro, il suo diametro apparente è lo stesso, sia che l'occhio trovasi in C o in O. Ora, si sa (504, principio I) che i due angoli bOa e bCa, che corrispondono alla stessa dimensione ba, sono in ragione inversa delle distanze OF e CF; dunque $\frac{bOa}{ACB} = \frac{CF}{OF}$. Vale a dire che, nel canocchiale astronomico, l'ingrandimento ha per misura il rapporto della distanza focale dell'obbiettivo con quella dell'oculare, ammettendo che i due fochi coincidano. L'ingrandimento è dunque tanto maggiore, quanto l'obbiettivo è meno convergente e quanto più lo è l'oculare. Si vede ugualmente che la lunghezza del canocchiale eguaglia la somma delle distanze focali dell'oculare e dell'obbiettivo; donde risulta che essa è tanto maggiore quanto è più grande la distanza focale, vale a dire è maggiore il potere amplificante. In un buon canocchiale, l'ingrandimento non sorpassa 1000, e la lunghezza dello strumento raggiunge in tal caso 8 metri.

513. **Canocchiale terrestre.** — Il *canocchiale terrestre* o *lunga-visione* differisce dal canocchiale astronomico solo perchè in esso le immagini sono raddrizzate. Questo raddrizzamento si ottiene per mezzo di due lenti

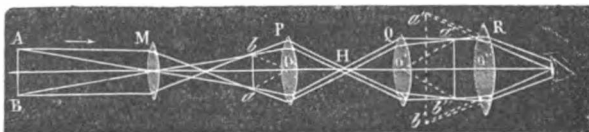



Fig 387.

convergenti P e Q (fig. 387), collocate tra l'obbiettivo M e l'oculare R. Supponendo l'oggetto in AB ad una distanza maggiore di quella che si possa rappresentare nel disegno, la sua immagine rovesciata e piccolissima, si forma in ba, dall'altra parte dell'obbiettivo. Ora, la seconda lente P, è a tale distanza che il suo foco principale coincide coll'immagine ab; d'onde risulta che i raggi luminosi che passano, per es. in b, prendono, dopo di aver attraversata la lente P, una direzione parallela all'asse secondario bO (478 e 479). Del pari, i raggi che passano in a prendono una direzione parallela all'asse aO. Questi raggi, dopo d'essersi incrociati in H, attraversano una terza lente Q, il cui foco principale coincide col punto H. Adunque il fascio BbH, concorre in b' sopra un asse secondario O'b parallelo alla sua direzione; siccome anche il fascio AaH concorre in a', si forma in $a'b'$ un'immagine raddrizzata dell'oggetto AB. Questa immagine si guarda, come nel canocchiale astronomico, con un oculare convergente R, collocato in modo da fare l'ufficio di microscopio semplice, cioè la sua distanza dall'immagine $a'b'$ è minore della distanza focale principale; perciò dà in $a''b''$ un'immagine virtuale, diretta ed ingrandita dell'immagine $a'b'$.

Le lenti P e Q che servono soltanto a raddrizzare l'immagine, sono fissate in un tubo di ottone, ad una distanza costante ed uguale alla somma delle loro distanze focali principali. L'obbiettivo M è mobile in un tubo, e può essere avvicinato od allontanato dalla lente P, in modo che l'immagine *ab* si formi sempre al foco di questa lente, qualunque sia la distanza dell'oggetto che si osserva. Anche la distanza della lente R può variare in modo che l'immagine $a''b''$ si formi alla distanza della visione distinta.

Il canocchiale terrestre può servire come canocchiale astronomico; allora però abbisogna un oculare di ricambio, perchè l'oculare deve ingrandire di più nel secondo canocchiale che nel primo. Però gli astronomici preferiscono il canocchiale a due lenti perchè assorbe minor quantità di luce.

Nel canocchiale terrestre l'ingrandimento è lo stesso che nel canocchiale astronomico, quando si supponga che le lenti P e Q destinate a raddrizzare l'immagine abbiano la stessa convessità.

514. **Canocchiale di Galileo** — Il *canocchiale di Galileo* o *canocchiale da teatro*, è il canocchiale più semplice, perchè composto di due sole lenti, un obbiettivo convergente M e un oculare divergente R (fig. 388), e dà immediatamente un'immagine raddrizzata.

Fig. 388.

Supponendo rappresentato l'oggetto dalla retta AB, la sua immagine tende a formarsi in *ba*, rovesciata, reale e più piccola; ma, attraversando l'oculare R, i raggi emessi dai punti A e B, si rifrangono allontanandosi rispettivamente dagli assi secondari bO' ed aO', che corrispondono ai punti b ed a dell'immagine. Ne risulta che questi raggi, prolungati in un senso contrario alle loro direzioni, concorrono su questi assi in a' ed in b'; adunque, l'occhio che riceve questi raggi vede in $a'b'$ una immagine diritta ed ingrandita, la quale sembra più vicina, perchè veduta sotto un angolo $a'O'b'$ maggiore dell'angolo $AO'B$ sotto il quale è veduto l'oggetto. Quanto all'ingrandimento, come nel canocchiale astronomico, esso ha per valore approssimativo il rapporto della distanza focale dell'obbiettivo con quella dell'oculare. Infatti, l'ingrandimento eguaglia $\frac{a'O'b'}{AOB} = \frac{bO'a}{bOa} = \frac{OF}{O'F}$ (504, principio I), ammettendo che i fochi dell'oculare e dell'obbiettivo coincidano. D'onde risulta che la distanza delle due lenti è la differenza delle loro distanze focali rispettive e, per conseguenza, il canocchiale di Galileo è molto corto e comodamente portatile. Esso ha il vantaggio di far vedere gli oggetti nella loro vera posizione ed inoltre, essendo composto di due sole lenti, assorbe poca luce; ma, a motivo della divergenza dei raggi emergenti, ha poco campo, e per servirsene bisogna collocare l'occhio assai vicino all'oculare. Quest'ultimo può essere avvicinato all'obbiettivo od allonta-

nato dal medesimo, in modo che l'immagine *a'b'* si formi sempre alla distanza della visione distinta.

Il canocchiale da teatro o *binocolo* differisce da quello ora descritto soltanto per essere doppio, onde formare un'immagine in ciascun occhio, ed aumentare per tal modo la chiarezza.

Il canocchiale di Galileo fu adoperato pel primo nelle osservazioni degli astri. Con esso questo illustre astronomo scoprì le montagne della luna, i satelliti di Giove e le macchie del sole.

Si ignora l'epoca dell'invenzione dei canocchiali. Alcuni ne attribuiscono la scoperta a Ruggero Bacone, nel secolo XIII; altri a Giovanni Battista Della Porta alla fine del secolo XVI, altri ancora a Giacomo Mezio, olandese, il quale, nel 1609, avrebbe per caso trovato che combinando due lenti l'una concava e l'altra convessa, si scorgevano gli oggetti più grandi e più vicini.

515. **Telescopii.** — I *telescopii* sono strumenti che servono a vedere gli oggetti lontani e particolarmente gli astri. Il canocchiale astronomico ed il canocchiale di Galileo sono adunque telescopii. Infatti essi ebbero dapprima questo nome, e si chiamavano *telescopii per rifrazione* o *telescopii diottrici;* al presente però si intendono per telescopii gli apparati nei quali si approfitta della riflessione insieme e della rifrazione, per mezzo di specchi e di lenti, onde osservare gli oggetti lontani. Se ne costrussero di parecchie specie, ma i più conosciuti sono quelli di Gregory, di Newton e di Herschel.

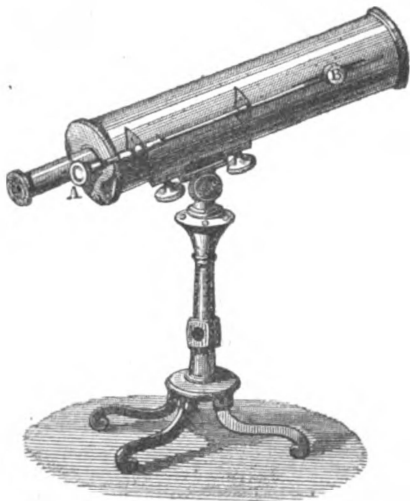



Fig. 389 (a. = 1^m,20).

1.° *Telescopio di Gregory.* — La figura 389 rappresenta un telescopio di Gregory, montato sopra un piede sul quale può girare liberamente ed inclinarsi più o meno; la figura 390 ne dà una sezione longitudinale. Questo telescopio, che fu inventato verso il 1650, è compo-

sto di un lungo tubo di ottone; uno de' suoi capi è chiuso da un grande specchio concavo M, di metallo, nel cui centro è praticata un'apertura

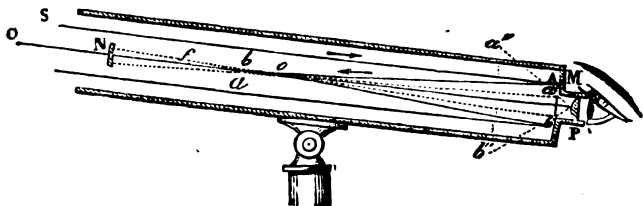



Fig. 390.

circolare nella quale passano i raggi che si dirigono all'oculare. Vicino all'altra estremità del tubo avvi un secondo specchio concavo N pure di metallo, un po' più largo dell'apertura centrale dello specchio grande e di un raggio di curvatura molto minore. Gli assi di questi specchi coincidono con quello del tubo. Essendo O il centro di curvatura del primo ed *ab* il suo foco, i raggi che come SA sono emessi dall'astro, si riflettono su questo specchio e formano in *ab* una immagine rovesciata e piccolissima dell'astro. Ora, la distanza degli specchi e le loro curvature rispettive sono tali che il luogo di questa immagine trovasi tra il centro *o* ed il foco *f* dello specchio piccolo; ne risulta che i raggi, dopo d'essersi riflessi una seconda volta sullo specchio N, formano in $a'b'$ una immagine ingrandita e rovesciata di *ab* (fig. 311, reciproca), e per conseguenza diritta rispetto all'astro. Finalmente, si guarda questa immagine con un oculare P, a lente semplice o doppia, la quale ha per oggetto di ingrandirla di nuovo e che la fa vedere in $a''b''$.

Siccome non sempre gli oggetti che si guardano sono collocati alla stessa distanza, il foco dello specchio grande e, per conseguenza, quello del piccolo, ponno variare di posizione. Inoltre, siccome la distanza della visione distinta non è la stessa per tutti gli occhi, si deve poter collocare l'immagine $a''b''$ a differenti distanze. Per aver riguardo a queste variazioni, bisogna poter allontanare od avvicinare lo specchio piccolo al grande; per ciò, mediante un bottone A (fig. 389), si fa girare un'asta la quale per mezzo d'una vite fa muovere un pezzo B al quale è fissato lo specchio piccolo.

2.° *Telescopio di Newton.* — Il telescopio di Newton differisce poco da quello di Gregory; nel telescopio di Newton, il grande specchio non ha apertura, e il piccolo che è piano, è inclinato lateralmente di 45 gradi verso un oculare collocato sul lato del tubo del telescopio. La difficile costruzione degli specchi metallici aveva fatto abbandonare generalmente i telescopii di Gregory e di Newton, quando Foucault, essendo riuscito ad inargentare gli specchi di vetro con grande perfezione e senza far loro perdere menomamente della loro levigazione, pensò in seguito a farne l'applicazione al telescopio di Newton, che torna, per opera sua, in uso. Il primo suo specchio non aveva che 10 centimetri di diametro; ma egli ne ha successivamente costrutti di 22 centimetri, di 33, di 42 e infine ne costrusse uno di 80.

La figura 392 rappresenta un telescopio di Newton montato sopra un piede parallatico, e la figura 391 ne mostra una sezione orizzontale.

In M è lo specchio di vetro argentato che riceve i raggi dell'astro che si osserva; e in *m* è un piccolo prisma rettangolare di vetro, sull'ipotenusa del quale i raggi rinviati dallo specchio subiscono la riflessione

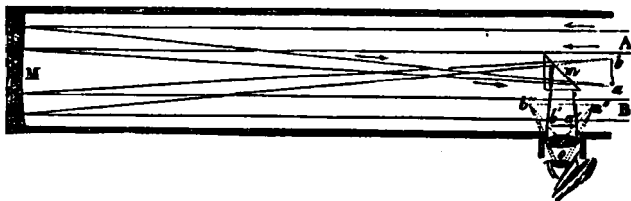



Fig. 391.

totale (467), e sono proiettati sul lato dello strumento. Senza l'interposizione di questo prisma, il fascio A, emesso dal lembo superiore dell'astro, convergerebbe in *a*, e il fascio B, emesso dal lembo inferiore, convergerebbe in *b*. Di modo che in *ab*, nel foco principale dello specchio, si produrrebbe un'immagine reale, rovesciata e piccolissima dell'astro. Ma in seguito alla riflessione sull'ipotenusa del prisma, invece di formarsi in *ab*, l'immagine si forma in *a'b'*, dove la si guarda con un oculare *o* che ingrandisce fortemente, il quale dà finalmente l'immagine *a''b''*, virtuale e molto amplificata. Per semplificare la costruzione, abbiamo supposto l'oculare ad una sola lente; ma quello di cui fa uso Foucault è un oculare a quattro lenti situato sul lato del telescopio, e che, secondo il suo potere di ingrandimento e la dimensione dello specchio inargentato può dare un ingrandimento da 50 ad 800 volte.

In questo istrumento, è lo specchio che fa l'ufficio di obbiettivo, ma evidentemente senza alcuna aberrazione di rifrangibilità (498). Quanto alle aberrazioni di sfericità, si vedrà qui appresso in qual modo Foucault pervenga a farle scomparire con successivi emendamenti fatti allo specchio.

Gli specchi di vetro dei nuovi telescopii escono dalla fabbrica di San Gobain; essi vengono dapprima sbozzati e ridotti alla curva sferica nelle officine pei fari di Sautter, e poscia terminati in quelle di Secrétan. Ma fino al presente non vi è che Foucault che possa dar loro l'ultimo grado di precisione. Prendendo egli stesso in mano il brunitoio, con una serie di prove ottiche successive e di emendamenti locali, questo scienziato riduce la loro superficie senza difetti; ciò che ha luogo quando la medesima è quella di un paraboloide. Tuttavia, Foucault ha riconosciuto che per correggere le aberrazioni di sfericità provenienti dall'oculare, egli non doveva dare a' suoi specchi una superficie rigorosamente parabolica, ma terminarli con una superficie sperimentale che, agendo di concerto al sistema de' vetri amplificatori dell'oculare, assicura la perfezione dell'immagine risultante.

Levigato lo specchio rimane a inargentarlo sulla sua superficie concava. Perciò Foucault fa uso del processo Drayton leggermente modificato, immergendo lo specchio in un bagno d'argento di natura assai complessa, cioè: acqua distillata, alcool puro, nitrato d'argento fuso, nitrato d'ammoniaca, ammoniaca, gomma, galbano ed essenza di ga-

rofano. Al contatto del vetro levigato, questo bagno si riduce, l'argento si deposita, e dopo 20 a 25 minuti, lo strato d'argento ha acquistata la grossezza conveniente. Quantunque lo strato così ottenuto sia di già levigato e lucente, si compie col dargli una levigatezza perfetta

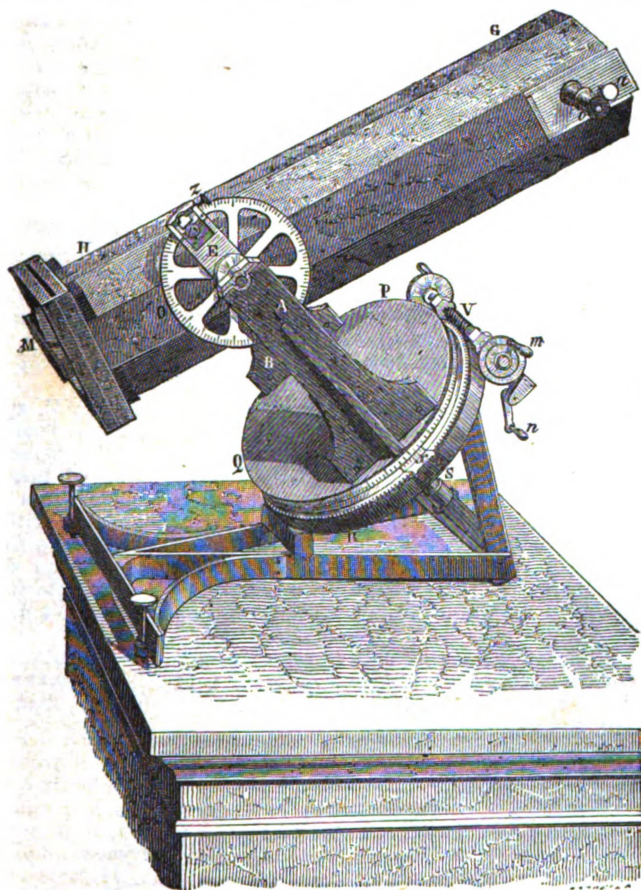



Fig. 392 (1 = 0^{m},70).

mediante uno strofinamento prolungato con una pelle fatta divenir rossa con ossido di ferro. Così preparati, Foucault stima che gli specchi inargentati riflettano il 75 per 100 della luce incidente.

I nuovi telescopii a specchi di vetro inargentato e parabolici hanno, sui vecchi telescopii a specchi sferici di metallo, il triplice vantaggio di dare immagini più pure, d'avere un peso molto minore, e d'essere

molto più corti; la loro distanza focale non essendo che sei volte il diametro dello specchio.

Conosciuti questi particolari, ci resta a descrivere l'apparecchio nel suo assieme. Il corpo del telescopio che è di legno, ha la forma di un tubo ottagonale (fig. 392). L'estremità G è aperta; all'altra estremità vi è lo specchio. Partendo da quest'ultimo, al terzo incirca della lunghezza, sono fissati due orecchioni sostenuti da due cuscinetti portati da due sostegni di legno A e B. Questi sono fissati su di una tavola PQ che gira su di un piano fisso RS, disposto parallelamente all'equatore. Sul contorno della tavola girante vi è un cerchio di rame diviso in 360 gradi, e al disotto, fissato anch'esso alla tavola girante, vi è un ingranaggio circolare nel quale imbocca una vite senza fine V. Facendo movere questa in un senso o nell'altro mediante la manovella *m*, si fa girare la tavola PQ e con questa tutto il telescopio. Un verniero *x*, adattato sul piano fisso RS, dà le frazioni di grado. Finalmente, sull'asse degli orecchioni, è montato un cerchio graduato O, corrispondente al circolo orario dell'astro che si osserva, e servendo per conseguenza a misurare la *declinazione* dell'astro, vale a dire la sua distanza angolare dall'equatore; mentre che i gradi tracciati intorno alla tavola PQ servono a misurare l'*ascensione retta*, vale a dire l'angolo che fa il circolo orario dell'astro con un circolo orario scelto arbitrariamente.

Per fissare il telescopio in declinazione, un pezzo di rame E, applicato al sostegno A, porta una pinzetta nella quale striscia il lembo O e che si chiude con una vite *r*. Finalmente sul fianco dell'apparecchio vi è l'oculare *o*, montato su di una lastra di rame fatta ad incastro che porta eziandio il piccolo prisma *m* rappresentato nella figura 391. Per mettere nel punto l'immagine, basta spingere innanzi o ritirare questa lastra, ciò che si eseguisce coll'aiuto di una dentiera e di un bottone *a*. Quanto alla manovella *n*, essa serve all'adattamento della vite V. Il disegno qui sopra venne eseguito su di un telescopio il cui specchio non ha che 0m,16 di diametro, e il cui ingrandimento è di 150 a 200.

Il nuovo telescopio a specchio di vetro inargentato ha già dato luogo ad importanti osservazioni, e devesi con ogni fondamento sperare che quello che si sta ora costruendo di 80 centimetri di diametro, darà origine a brillanti scoperte astronomiche.

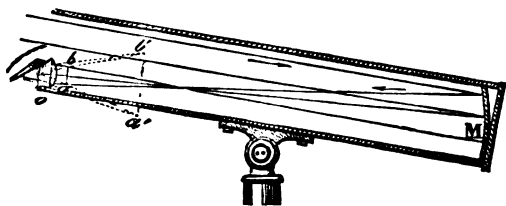



Fig. 393.

3.º *Telescopio di Herschel.* — Il telescopio di Herschel, attribuito anche a Lemaire, è formato da un solo specchio concavo M (fig. 393)

e da un oculare *o*. Lo specchio è inclinato all'asse in modo che l'immagine dell'astro che si osserva si forma in *ab*, a fianco del telescopio, vicino all'oculare *o* che dà in seguito l'immagine ingrandita *a'b'*. Siccome in questo telescopio i raggi subiscono una sola riflessione, la perdita di luce è minore che nei due precedenti e l'immagine è più ri schiarata. Anche in questo telescopio l'ingrandimento è il rapporto della distanza focale principale dello specchio a quella dell'oculare.

I telescopii a riflessione erano adoperati quando non sapevasi correggere negli obbiettivi l'aberrazione di rifrangibilità: però dacchè si costruiscono obbiettivi acromatici, si preferirono i telescopii diottrici, cioè a sola rifrazione, come il canocchiale astronomico, ai telescopii a riflessione, il cui specchio metallico, per dimensioni un po considerevoli, presentavano grandi difficoltà di costruzione. Al presente che Foucault ha sostituito agli specchi metallici, specchi di vetro molto più facili a costruirsi, i telescopii a riflessione potranno essere utilizzati come i telescopii a rifrazione.

516. **Camera oscura.** — La *camera oscura*, come indica il suo nome, è una camera in cui la luce penetra soltanto per una piccola apertura, come mostra la figura 284 (pag. 338). Allora tutti gli oggetti esterni, i

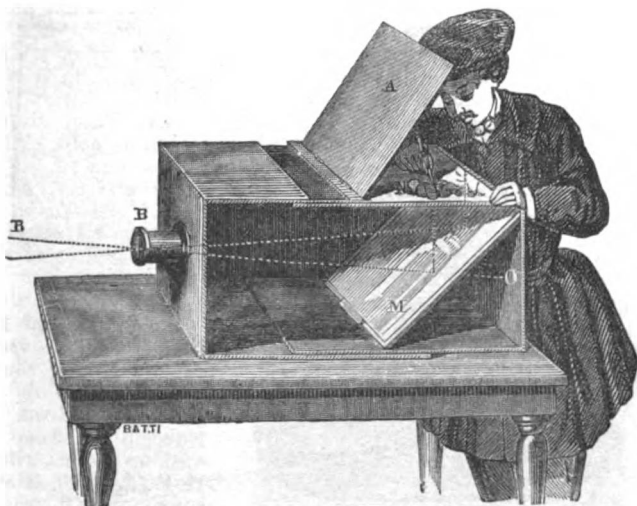



Fig. 391.

cui raggi possono giungere all'apertura, si dipingono sulla parete opposta con dimensioni ridotte e coi loro colori naturali; ma le immagini sono rovesciate.

Della Porta, fisico napoletano, fece conoscere, nel 1570, il fenomeno prodotto da un fascio luminoso che penetra in una camera oscura. Poco tempo dopo, lo stesso fisico osservò che, se nell'apertura della camera oscura si fissa una lente biconvessa e si colloca al foco di que-

sta un diaframma bianco, l'immagine che vi si produce riesce molto più nitida, meglio colorita e di mirabile somiglianza. Queste immagini sono tanto più chiare quanto più grande è la lente, e le loro dimensioni aumentano colla distanza focale.

Si diedero diverse forme alla camera oscura onde adoperarla nell'arte del disegno, renderla portatile e raddrizzar facilmente le immagini. La figura 394 rappresenta la *camera oscura a cassetto*. Essa consiste in una cassa parallelepipeda di legno, nella quale i raggi luminosi R penetrano attraverso una lente B e tendono a formare una immagine sulla parete opposta O, la cui distanza della lente B deve essere uguale alla distanza focale di quest'ultima. Ma, siccome i raggi incontrano uno specchio di vetro M inclinato di 45°, cambiano direzione e l'immagine si forma su di una lastra di vetro smerigliato N. Collocando su quest'ultimo un foglio di carta si ponno copiare fedelmente i contorni dell'immagine. L'assicella A serve ad intercettare la luce che rischiarerebbe l'immagine ed impedirebbe di vederla.

La cassa è formata di due parti che possono scorrere l'una entro l'altra, in modo che ritirando più o meno la parte anteriore, l'immagine si formi, dopo la riflessione, precisamente sul diaframma N, qualunque sia la distanza dell'oggetto di cui si vuol prendere il disegno.

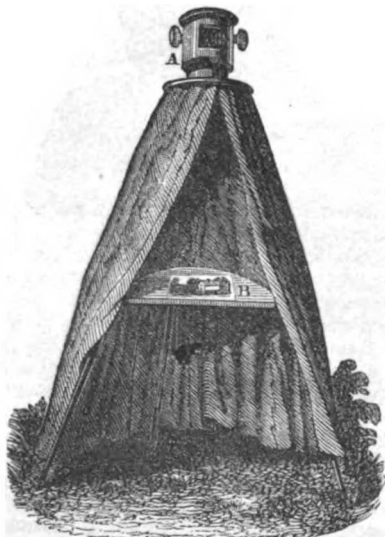



Fig. 395.

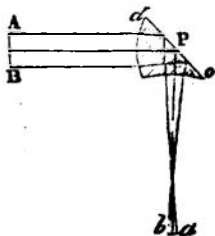



Fig. 396.

La figura 395 rappresenta un'altra specie di camera oscura, conosciuta sotto il nome di *camera oscura a prisma*. In un astuccio di ottone A trovasi un prisma triangolare P (fig. 396), il quale fa contemporaneamente le veci di lente convergente e di specchio; a tale scopo, una delle sue facce è piana, e le altre hanno una curvatura tale che le loro rifrazioni combinate all'ingresso ed all'emergenza dei raggi, producono l'effetto di un menisco convergente C (fig. 339, pag. 376). Ne risulta che i raggi emessi da un oggetto AB, dopo d'essere penetrati nel prisma ed aver subita sulla faccia *cd* la riflessione totale, formano in *ab* un'immagine reale di AB.

Ciò posto, siccome nella figura 395, la tavoletta B corrisponde al foco del prisma contenuto nell'astuccio A, l'immagine degli oggetti esterni si forma sopra un foglio di carta collocato in mezzo a questa tavoletta. L'apparato è cinto da una cortina nera, ed il disegnatore, collocandosi sotto alla medesima, si trova compiutamente nell'oscurità. La tavoletta si toglie ad arbitrio, ed i piedi si piegano per mezzo di cerniere, per cui quest'apparato, dovuto a Carlo Chevalier, riesce facilmente portatile.

517. **Camera chiara.** — La *camera chiara* o *camera lucida* è un piccolo apparato che si adopera per ottenere una immagine esatta di un paesaggio, di un monumento, o di qualunque altro oggetto. Wollaston pel primo, nel 1804, immaginò un apparato di questo genere. La camera chiara di questo fisico consiste in un piccolo prisma di vetro a quattro facce, di cui la figura 397 rappresenta una sezione perpendicolare agli spigoli. L'angolo A è retto, l'angolo C è di 135°, e ciascuno degli angoli B e D è di 67° e mezzo circa. Questo prisma è sostenuto da un

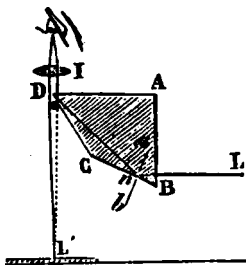
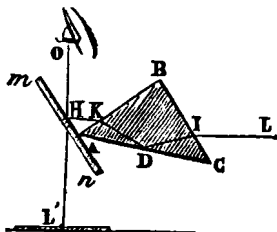



Fig. 397. Fig. 398.

piede formato di due pezzi scorrevoli l'uno entro l'altro, per cui si può innalzarlo od abbassarlo a volontà; inoltre, si può farlo girare più o meno intorno ad uno asse parallelo ai suoi spigoli. Ciò posto, se si volge la faccia AB verso l'oggetto di cui si cerca l'immagine, i raggi partiti da esso cadono quasi perpendicolarmente su questa faccia, vi penetrano senza rifrazione sensibile e subiscono la riflessione totale sulla faccia BC; perchè, essendo la linea *ab* normale alla faccia BC, si riconosce facilmente che l'angolo d'incidenza L*na* e l'angolo B sono eguali, perchè aventi i loro lati rispettivamente perpendicolari; e siccome l'angolo B è di 67° e mezzo, l'angolo *an*L è maggiore dell'angolo limite del vetro (467), condizione necessaria perchè avvenga la riflessione totale. Giunti in *o*, i raggi subiscono ancora la riflessione totale ed escono vicinissimi allo spigolo D, in una direzione sensibilmente perpendicolare alla faccia DA, di modo che l'occhio, il quale riceve questi raggi, vede in L' l'immagine dell'oggetto L. Se allora si segue il contorno dell'immagine con una matita, se ne ottiene un disegno esattissimo. Qui però si presenta una difficoltà rilevante, quella cioè di vedere contemporaneamente l'immagine e la punta della matita; perchè i raggi provenienti dall'oggetto danno una immagine che è più lontana dall'occhio che non la matita. Si corregge questo difetto interponendo tra l'occhio ed il prisma una lente I, la quale fa convergere ugualmente i raggi partiti dalla matita e quelli provenienti dall'oggetto; bisogna

però collocare ancora l'occhio assai vicino al lembo del prisma, ed in modo che la pupilla si trovi divisa in due parti, delle quali l'una vede l'immagine e l'altra la matita.

Carlo Chevalier arrecò importanti perfezionamenti alla camera chiara di Wollaston. Siccome l'immagine e la matita cessano d'essere visibili distintamente quando l'intensità della luce che le rischiara è troppo differente, egli adattò all'istrumento alcuni vetri colorati che si interpongono o dalla parte dell'oggetto o dalla parte della matita, ed, intercettando una parte di luce, rendono la sua distribuzione più uniforme.

Amici immaginò una camera chiara preferibile a quella di Wollaston, perchè permette all'occhio di fare movimenti piuttosto estesi, senza che cessino d'essere visibili l'immagine e la matita, ciò che non ha luogo nell'apparato or ora descritto. La camera chiara di Amici si compone di un prisma rettangolo ABC (fig. 398) di vetro, di cui uno dei lati dell'angolo retto è rivolto verso l'oggetto che si vuol guardare e l'altro è perpendicolare ad una lastra di vetro inclinata *mn*. I raggi LI, emessi dall'oggetto, penetrando nel prisma, subiscono la riflessione totale sul suo lato maggiore ed escono secondo la direzione KH. Allora riflettendosi parzialmente sulla lastra di vetro, formano in L′ una immagine virtuale di L. L'occhio che vede questa immagine può benissimo scorgere in pari tempo la matita attraverso alla lastra di vetro, epperò si possono disegnare gli oggetti con grande precisione.

ISTRUMENTI DI PROIEZIONE

518. **Lanterna magica** — La *lanterna magica* è un piccolo apparecchio che serve ad ottenere sopra un diaframma bianco, in una camera oscura, le immagini ingrandite di piccoli oggetti. Consiste in una

Fig. 400.

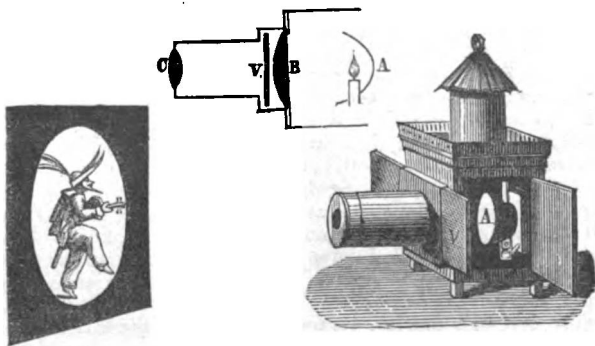



Fig. 399.

cassa di latta, entro la quale è collocata una lampada nel fuoco di uno specchio concavo A (fig. 399). I raggi riflessi da quest'ultimo sono ricevuti da una lente convergente B (fig. 400) che li concentra sopra

diverse figure dipinte su di una lastra di vetro V. Queste figure, che per tal guisa trovansi fortemente rischiarate, sono situate davanti ad una seconda lente di convergenza C, ad una distanza alquanto maggiore della distanza focale principale. In questa posizione la lente produce, sopra un diaframma collocato ad opportuna distanza un' immagine reale, rovesciata e molto ingrandita degli oggetti dipinti sul vetro (481, 1.°). Per vedere diritta l' immagine bisogna aver cura di collocare nella lanterna il vetro dipinto, in modo che i disegni vi sieno rovesciati.

La lanterna magica fu inventata dal padre Kircher, gesuita tedesco, morto a Roma nel 1680.

L' ingrandimento ottenuto colla lanterna magica è uguale a quello delle lenti (505); cioè è il rapporto delle distanze della lente C dal diaframma e dall'oggetto. Per conseguenza, se l'immagine è 10, 100 volte più lontana dalla lente che l' oggetto, l' ingrandimento è 10 o di 100. Si comprende facilmente che con una lente a corto foco si potranno ottenere, sopra un diaframma sufficientemente lontano, le immagini assai ingrandite.

519. **Microscopio solare.** — Il *microscopio solare* è una vera lanterna magica rischiarata dai raggi solari, che serve ad ottenere le immagini assai ingrandite di oggetti piccolissimi. Questo apparecchio si adopera in una camera oscura; la figura 401 lo rappresenta fissato all' imposta della camera, e la figura 402 ne mostra la disposizione interna.

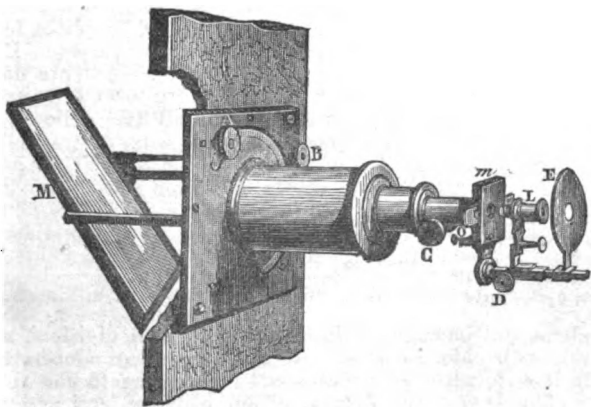



Fig 401.

Uno specchio piano M, situato al di fuori della camera oscura, riceve i raggi solari e li riflette su di una lente convergente A, indi su di una seconda lente E (fig. 402), chiamata *focus*, che li concentra nel suo foco. In questo punto trovasi l'oggetto di cui si vuole avere l' immagine; esso è collocato fra due lastre di vetro O, che si introducono fra due lamine metalliche KK, le quali le comprimono l'una contro l' altra per mezzo di molle a spirale HH. L' oggetto trovandosi allora fortemente illuminato, e collocato vicinissimo al foco di una piccola

lente L assai convergente, questa ne forma un'immagine *ab* rovesciata ed assai ingrandita sopra un muro o sopra un diaframma bianco situato a conveniente distanza. Le viti a bottone D e C servono a regolare le distanze delle lenti E ed L dall'oggetto, in modo che questo sia esattamente al foco della prima, e che l'immagine formata dalla lente L corrisponda esattamente al diaframma.

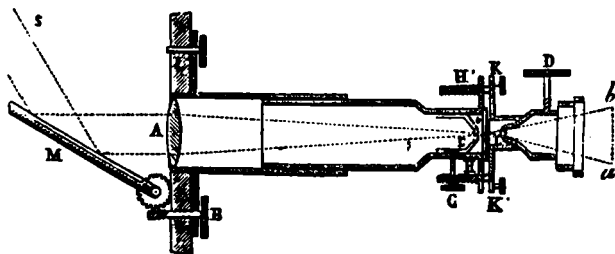



Fig. 402.

Siccome la direzione della luce solare varia continuamente, bisogna che varii anche quella dello specchio posto al di fuori della camera oscura, acciocchè la riflessione si produca costantemente secondo l'asse del microscopio. Il mezzo più esatto sarebbe l'uso dell'eliostato (460); ma siccome questo strumento è assai costoso, vi si supplisce inclinando più o meno lo specchio M per mezzo di una vite perpetua B e di un rocchetto, e facendolo girare attorno alla lente A mediante un bottone (fig. 401), che si muove entro una scanalatura fissa e trasmette allo specchio un movimento di rotazione attorno all'asse dello strumento.

Il microscopio solare ha l'inconveniente di concentrare sull'oggetto un calore troppo intenso che lo áltera prontamente. Vi si rimedia interponendo uno strato d'acqua satura d'allume che, avendo un debolissimo potere diatermano, arresta una parte del calore (391).

L'ingrandimento del microscopio solare si può determinare sperimentalmente mettendo in luogo dell'oggetto, una lastra di vetro sulla quale sono segnate delle divisioni di $\frac{1}{10}$ o di $\frac{1}{100}$ di millimetro. Misurando allora sull'immagine l'intervallo fra queste divisioni, se ne deduce l'ingrandimento. Lo stesso processo può essere adoperato pel microscopio foto-elettrico (520). Secondo l'ingrandimento che si vuol ottenere, l'obbiettivo consta di una, di due o di tre lenti acromatiche.

Col microscopio solare si ponno mostrare a numerose adunanze dei curiosissimi fenomeni; per es., la circolazione del sangue nella coda dei girini e nelle zampe delle rane, la cristallizzazione dei sali e specialmente del sale ammoniaco, oppure gli animaletti che vedonsi nell'aceto, nella pasta di farina, nelle acque stagnanti, ecc.

520. **Microscopio foto-elettrico.** — Il microscopio *foto-elettrico* altro non è che un microscopio solare, il quale invece di essere rischiarato dal sole lo è dalla luce elettrica. Questa luce è preferibile a quella del sole, perchè è stabile e si può facilmente avere in qualunque tempo. Qui descriveremo soltanto il microscopio foto-elettrico propria-

mente detto, riservandoci a parlare della luce elettrica nel trattato della pila.

Il microscopio foto-elettrico fu immaginato da Foucault e Donné. La figura 403 rappresenta la disposizione data a quest'apparato da Duboscq. Sopra una parete esterna di una cassa parallelepipeda di ottone è fissato un microscopio solare ABD, identico a quello descritto nel paragrafo precedente. Nell'interno della cassa si trovano due bacchette di carbone *a* e *c*, le quali non sono a contatto, e l'intervallo

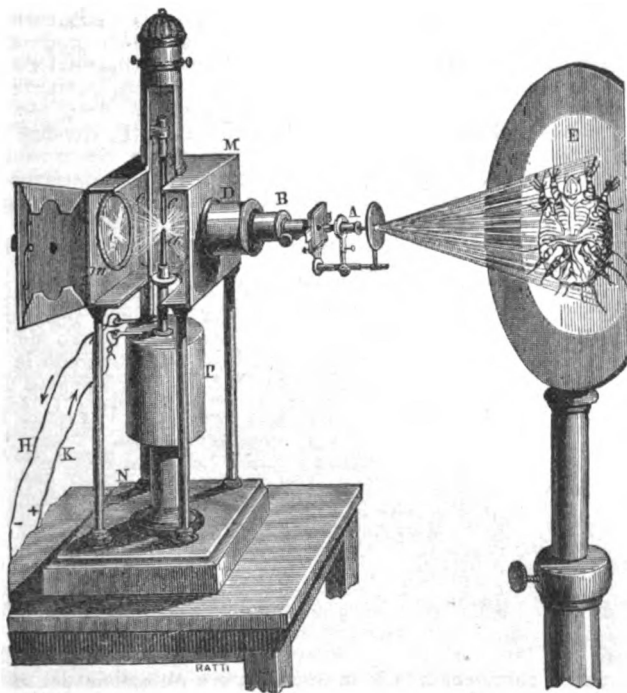



Fig. 403 (a. = 0m,95).

che esiste tra loro corrisponde esattamente all'asse delle lenti del microscopio. L'elettricità di una potente pila giunge pel filo di ottone K al carbone *a* e da questo passa al carbone *c*, il quale perciò deve dapprima trovarsi al contatto col carbone *a*; poi allontanato alquanto, l'elettricità allora è condotta dal carbone che volatilizzandosi passa da *a* in *c*. Infine, dal carbone *c*, l'elettricità giunge per mezzo di una colonna metallica *o* ad un secondo filo di rame che la riconduce alla pila.

Ciò posto, durante il passaggio della elettricità, gli estremi dei due carboni diventano incandescenti e spandono una luce assai viva, la

quale rischiara fortemente il microscopio. Per ciò si colloca in D, nell'interno del tubo, una lente convergente, il cui foco principale corrisponde all'intervallo dei due carboni. Per tal modo i raggi luminosi che entrano nei tubi D e B sono paralleli al loro asse e, come nel microscopio solare ordinario, si forma su di un diaframma E, più o meno lontano, un'immagine assai ingrandita dei piccoli oggetti collocati fra due lastre di vetro, in capo al tubo B. Nel nostro disegno l'oggetto rappresentato sul diaframma è l'*acaro* della scabbia.

In questo apparato i due carboni si consumano disugualmente, cioè *a* più rapidamente di *c*; ne risulta che l'intervallo fra i due carboni aumenta, e perciò la luce si indebolisce o cessa anche di prodursi. Trattando, più tardi, della luce elettrica, diremo come funzioni l'apparecchio P che porta i due carboni e serve a mantenere costante il loro intervallo.

L'apparato MN, astrazione fatta dei tubi A, B, D, divenne tra le mani di Duboscq un *apparato fotogenico* universale. Sostituendo successivamente al microscopio ABD alcune figure di fantasmagoria, di poliorama, di megascopio, taluni apparati polarizzatori, si giunge a ripetere, con questo solo apparato, tutte le esperienze dell'ottica, epperò quest'apparato viene oggidì vantaggiosamente sostituito a quello già conosciuto sotto il nome di *microscopio a gas*.

521. **Lenti a gradinate, fari.** — Le lenti di grandi dimensioni sono molto difficili a costruirsi; inoltre producono una forte aberrazione di sfericità e perdono molto della loro trasparenza a motivo della loro grossezza. Per ovviare a questi inconvenienti si costruirono le *lenti a gradinate*. Queste lenti immaginate da Buffon e perfezionate da Fresnel sono formate al centro da una lente piano-convessa C (fig. 404 e 405), cinta da una serie di segmenti annulari e concentrici A,B, ciascuno dei quali ha una faccia piana situata dallo stesso lato della faccia piana della lente centrale, mentre le facce opposte hanno curvature tali che i fochi dei vari segmenti si formano nel medesimo punto. Il complesso di questi anelli forma adunque colla lente centrale una lente unica che si scorge in sezione nella figura 405. Quella rappresentata nel nostro disegno venne copiata da una lente di 60 centimetri circa di diametro, i cui segmenti annulari sono formati di un solo pezzo di vetro; nelle lenti più grandi però ciascun segmento è formato di parecchi pezzi.

Dietro alla lente trovasi un sostegno fissato con tre verghe, sul quale si pongono i corpi che voglionsi sottomettere all'azione dei raggi solari che cadono sulla lente. Siccome il centro del sostegno corrisponde al foco, le sostanze che vi si collocano sono fuse e volatilizzate dall'alta temperatura che vi si produce. L'oro, il platino, il quarzo, si fondono rapidamente. Facciamo osservare che queste esperienze dimostrano che il calorico si rinfrange secondo le stesse leggi della luce, perchè il foco calorifico si forma allo stesso punto del foco luminoso.

Nei tempi passati, si adoperavano gli specchi parabolici per trasmettere a grandi distanze la luce dei *fari*. Chiamansi così le fiamme che si mantengono accese durante la notte, sulle coste, per servire di guida ai nocchieri. Oggidì si adoperano soltanto le lenti a gradinate. La fiamma è prodotta da una lampada a 3 a 5 lucignoli concentrici, la quale dà tanta luce come 15 lampade Carcel. Questo lume essendo collocato al foco principale di una lente a gradinate dal lato della faccia

piana, i raggi emergenti formano un fascio parallelo (fig. 342, pag. 378) che perde la sua intensità soltanto pel passaggio attraverso all'atmosfera (500), e può essere visibile sino alla distanza di 60 o 70 chilometri. Acciocchè tutti i punti dell'orizzonte siano successivamente rischiarati

Fig. 405.

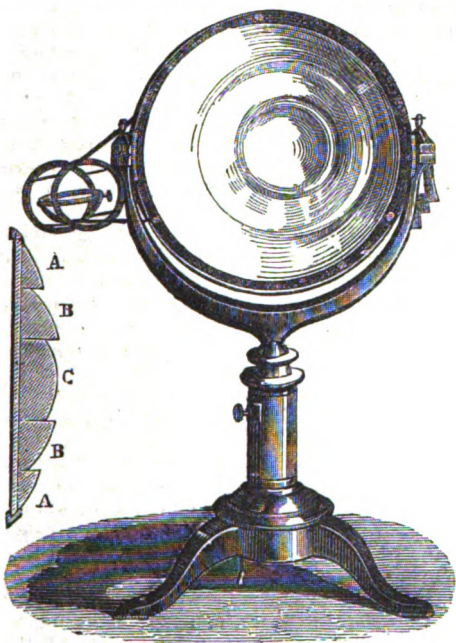



Fig. 404.

da uno stesso faro, la lente, per mezzo di un meccanismo d'orologeria, si muove attorno alla lampada e fa le sue rotazioni in un tempo che varia da un faro all'altro. Ne risulta che pei diversi punti dell'orizzonte avvi successivamente, ad intervalli di tempo eguali, apparizione ed ecclissamento di luce. Tali ecclissi servono ai marinai per distinguere i fari dai fochi accidentali: inoltre dal numero degli ecclissi che si producono in un tempo determinato, possono essi riconoscere il faro e, per conseguenza, la spiaggia che si trova alla loro vista.

FOTOGRAFIA

522. Daguerrotipo. — Il *daguerrotipo*, così detto dal nome del suo inventore, è un apparecchio che serve a fissare, sopra sostanze *sensibili* alla luce, le immagini formate dalle lenti convergenti nella camera oscura (516). L'arte di produrre per tal modo le immagini degli oggetti per mezzo della luce ricevette il nome di *fotografia*. Si distingue la *fotografia sulle piastre metalliche*, la *fotografia sulla carta* e la *fotografia sul vetro*.

Sino dal 1770, il celebre chimico svedese Scheele aveva riconosciuto che il cloruro d'argento, il quale si conserva bianco nella oscurità, annerisce per l'azione della luce. Dietro a questa proprietà del cloruro d'argento si potevano già riprodurre delle incisioni esponendo alla luce solare un foglio di carta intonacato di questa sostanza e coperto da un'incisione; siccome la luce solare è intercettata dalle parti nere dell'incisione, la carta preparata col cloruro viene annerita soltanto nelle parti che corrispondono ai chiari dell'incisione e le altre parti restano bianche. Adunque nella copia così ottenuta le tinte sono rovesciate, cioè i neri sono diventati chiari e reciprocamente. Questa copia ha inoltre il difetto di non poter essere conservata che nell'oscurità, perchè, appena esposta alla luce, annerisce in tutte le sue parti e scompare.

Rimaneva adunque a produrre le immagini senza inversione di chiari e di ombre ed a fissarle, cioè a renderle insensibili all'azione della luce una volta formate. Charles in Francia, Wedgwood e Davy in Inghilterra si occuparono della soluzione di questo problema, che fu poi risolto da Niepce e Daguerre. Il primo di questi fisici, dopo pazienti ricerche, continuate dal 1814 al 1829, era pervenuto a formare, sopra una lastra di rame coperta d'argento, un'immagine inalterabile alla luce, e nella quale le tinte chiare e scure erano disposte come nell'immagine. Ma nel processo di Niepce, in cui la sostanza sensibile era il bitume di Giudea immerso in seguito in un miscuglio d'olio di lavanda e di petrolio, l'azione della luce doveva essere protratta da 10 a 12 ore, ciò che non si poteva praticare pei ritratti.

Nel 1829, Niepce comunicò il suo processo a Daguerre, già conosciuto per l'invenzione del *diorama* e che da parecchi anni occupavasi delle medesime ricerche; solo però dopo un lavoro di 10 anni Daguerre fece conoscere, nel 1839, la bella scoperta che fece tanto rumore in Francia e fuori. Niepce, morto tre anni prima, non potè raccogliere quella parte di gloria che ben a ragione gli era dovuta.

Il processo di Daguerre si compone di cinque operazioni principali: 1.ª il pulimento della lastra di rame, coperta di una lamina sottile d'argento, sopra la quale si deve formare l'immagine; 2.ª la deposizione su questa piastra dello *strato sensibile,* cioè della sostanza che la rende atta a ricevere le impressioni della luce; 3.ª l'esposizione della lastra all'azione della luce nella camera oscura; 4.ª l'esposizione della lastra ai vapori di mercurio che fanno apparire l'immagine: 5.ª la fissazione dell'immagine.

La pulitura della lastra è una operazione importante dalla quale dipende il successo dell'esperimento. La si incomincia con fiocchi di cotone leggermente bagnati di alcool e spolverizzati di tripolo, e la si termina con del rosso d'Inghilterra ed un lisciatoio di pelle.

Pulita la lamina la si espone per due minuti circa su di una piccola cassa rettangolare al vapore di iodio che reagisce sull'argento e ne trasforma la parte superficiale in ioduro d'argento. Si riconosce che la piastra è sufficientemente iodata quando ha preso una bella tinta giallo d'oro tendente al rosso verso gli orli. La piastra allora è atta a ricevere l'azione della luce, ma solo per riprodurre vedute od oggetti d'arte. Non potrebbe però ancora essere adoperata per ritratti, perchè onde impressionarla bisogna prolungare l'azione della luce per 8 a 10 minuti. Bisogna adunque sottometterla all'azione di sostanze *acceleratrici,* che aumentino cioè la sensibilità dello strato d'ioduro e facciano che

l'immagine si produca in pochi secondi. Queste sostanze consistono in una soluzione acquosa di bromo od in bromuro di calce solido. La lamina si espone al vapore di una di queste sostanze per 30 secondi ad 1 minuto circa, fino a che prenda una tinta rossa assai intensa, senza passare al violetto. Bromata la piastra la si riporta sulla cassa di iodio, ove la si lascia *esattamente* la metà del tempo che vi era rimasta la prima volta.

La piastra è allora sensibilissima all'azione della luce. Per ciò le operazioni or ora indicate si fanno in un luogo assai poco rischiarato, e quando sono terminate, si rinchiude la piastra in un piccolo telaio di legno e la si copre dal lato ove trovasi l'argento con un diaframma di legno scorrevole nel telaio e che si può togliere a piacere, e dall'altra parte con un'imposta a cerniera che si applica su di essa e la mantiene fissa nel telaio. In questo stato la piastra viene portata in una camera oscura portatile, di legno, che è rappresentata nella fig. 406, e che costituisce l'apparato conosciuto generalmente sotto il nome di *daguerrotipo*.

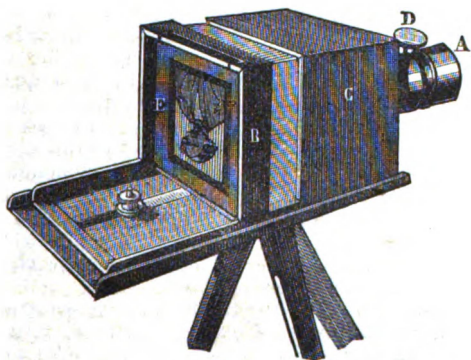



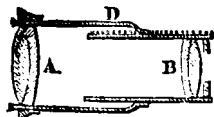
Fig. 406 (a. = 28).

Quest'apparato, che si compone di una parte fissa C e di una parte mobile B, è una vera camera oscura a cassetto (516). In un tubo di ottone A trovasi l'obbiettivo, il quale è composto di una lente convergente acromatica che si fa avanzare o retrocedere mediante un'asta dentata ed un piccolo rocchetto che si fa girare a mano per mezzo di un bottone D. La parete opposta all'obbiettivo è formata di una lastra di vetro smerigliato fissa in un telaio E, che si toglie a piacere. Ciò posto, se si tratta di ottenere un ritratto, si fa sedere la persona alla distanza di 3 o 4 metri davanti all'obbiettivo, poi si fa avanzare o retrocedere la parte mobile B, fintanto che l'immagine, la quale si produce rovesciata sulla lastra di vetro, apparisca ben chiara; il che avviene quando la lastra trovasi sensibilmente al foco. Si finisce poi di collocarla nel foco avvicinandone od allontanandone l'obbiettivo mediante il bottone D. Nei ritratti il foco si determina per rapporto agli occhi della persona, essendo questa la parte più centrale del viso.

Trovato il foco, senza spostare la camera oscura, si leva la cornice E e la lastra di vetro e vi si sostituisce il telaio contenente la lastra iodata; ritirando poi il diaframma scorrevole che copre la superficie d'argento, l'immagine che prima si formava sul vetro, si forma sulla piastra. Allora la luce produce la sua azione misteriosa e disegna sulla lastra un'immagine invisibile. Il tempo pel quale la lastra deve restare esposta alla luce varia coll'obbiettivo, colla preparazione dello strato sensibile e coll'intensità della luce, e può essere da 8 a 50 secondi. Se l'esposizione alla luce fu troppo prolungata, l'immagine rimane bianca, ed è nera se l'esposizione fu di troppo breve durata.

Quando è tempo di troncare l'azione della luce, ciò che non si apprende se non con una lunga pratica, si abbassa il diaframma scorrevole e si ritira il telaio entro il quale la piastra si trova in una perfetta oscurità; ciò che è indispensabile come prima della sua introduzione nella camera oscura. Se si guarda la piastra in questo momento non si scorge alcuna traccia d'immagine; per renderla visibile si espone la piastra all'azione dei vapori di mercurio, collocandola sotto un angolo di 45°, alla parte superiore di una cassa di legno destinata a quest'uopo, il cui fondo di lamiera di ferro porta una cavità piena di mercurio. Portando questo liquido ad una temperatura di 60° a 75°, per mezzo d'una piccola lampada ad alcool, i vapori di mercurio si depositano abbondantemente, sotto la forma di goccioline impercettibili, sulle parti che furono fortemente illuminate e, dopo qualche minuto, formano un'amalgama d'argento e mercurio, la quale costituisce i chiari della prova, mentre le altre parti restano nere in causa del brunito della piastra. L'immagine allora è visibile e può rimanere esposta alla luce. Tuttavia, la lamina è ancora coperta, principalmente negli scuri, di uno strato d'ioduro d'argento che dà alla prova una tinta rossastra o violacea. Si fa sparire questa tinta lavando la lamina con una soluzione d'iposolfito di soda. L'immagine però non resiste allo sfregamento anche il più leggero, il che sembra accennare che l'argento ed il mercurio non si sono ben amalgamati.

Appunto per correggere questo difetto rimane ancora l'operazione che serve a fissare l'immagine; a questo effetto, si lava la lamina in una soluzione diluita di cloruro d'oro e d'iposolfito di soda. In questa operazione si scioglie un po' d'argento, mentre una piccolissima quantità di oro si combina col mercurio e coll'argento della piastra; allora l'amalgama di mercurio e d'argento, che costituisce i chiari della prova, aumenta di solidità e di lucentezza, combinandosi coll'oro, donde risulta un notabile aumento d'intensità nei chiari della immagine. L'uso del cloruro d'oro, che è il principale perfezionamento portato alla scoperta di Daguerre, devesi a Fizeau.

Fig. 407.

La figura 407 rappresenta una sezione dell'obbiettivo, cioè dell'apparecchio che serve a concentrare la luce sulla piastra ed a produrvi l'immagine. Esso consisteva dapprima in una sola lente biconvessa acromatica; però non si tardò ad adottare gli obbiettivi a due lenti acromatiche, conosciuti sotto il nome di *obbiettivi a lenti combinate*. Essi operano più velocemente che gli obbiettivi ad un solo vetro, hanno una distanza focale minore, e permettono di collocare assai facilmente al foco, ciò che si fa avvicinando la lente B che

è rivolta verso l'oggetto alla lente A, od allontanandola per mezzo di un'asta dentata e di un rocchetto D.

523. **Fotografia sulla carta.** — Nel processo di Daguerre, or ora descritto, le immagini vengono prodotte immediatamente sulle lastre metalliche; così non avviene nella fotografia sulla carta, la quale comprende due parti distinte: nella prima si ottiene una immagine le cui tinte sono inverse, cioè le parti più chiare sono divenute sulla carta le più oscure e viceversa: questa è l'*immagine negativa*. Nella seconda si adopera la prima immagine per formarne un'altra in cui le tinte sono rovesciate di nuovo, e si trovano quindi nel loro ordine naturale: questa è l'*immagine positiva*.

La prova negativa si può produrre sul vetro o sulla carta; oggidì si fanno generalmente sul vetro le prove negative pei ritratti e sulla carta quelle pei paesaggi.

Prove negative sul vetro. — Si pulisce una lastra di vetro sfregandola con un pannolino dapprima cosparso di tripolo stemperato nell'alcool, poi bagnato con alcool solo, indi la si sfrega con una pelle di daino. La riuscita della prova dipende in gran parte dal pulimento della lastra.

Si dispone la lastra ben pulita in posizione orizzontale, e vi si versa nel mezzo del collodio liquido contenente una soluzione d'ioduro di potassio; indi si inclina la lastra in differenti versi in modo di ottenere uno strato di collodio molto uniforme in tutta la sua superficie, e finalmente la si inclina verso uno de'suoi angoli onde lasciare sgocciolare il liquido eccedente.

L'etere del collodio ben presto vaporizza e la superficie prende un aspetto velato. Allora si immerge la lastra in una soluzione contenente 1 grammo d'azotato d'argento per ogni 10 grammi d'acqua; ivi l'ioduro di potassio si trasforma in ioduro d'argento. Questa operazione deve farsi in luogo oscuro, illuminato soltanto da una candela o da una lampada coperta con vetro giallo-ranciato o con un cilindro di carta dello stesso colore. Si lascia la lastra nel bagno d'argento per circa un minuto, indi la si fa sgocciolare e, quando è ben asciugata, la si pone in un telaio chiuso e la si porta nella camera oscura di Daguerre (fig. 406), nello stesso modo che abbiam già detto per le lastre metalliche (522). Ivi sotto l'influenza della luce, l'ioduro d'argento incomincia a subire un principio di decomposizione (492, 3.°), senza però che l'immagine sia visibile, perchè l'azione non fu prolungata abbastanza. Per rendere visibile l'immagine si immerge la lastra in una soluzione d'acido pirogallico, cui si aggiunge un po' d'acido acetico cristallizzabile e si riscalda leggermente; in tutti i punti in cui l'ioduro d'argento subì un principio di decomposizione si forma un gallato d'argento che è nero, e l'immagine apparisce all'istante. Le parti ombreggiate dell'immagine che non ricevettero l'azione della luce rimangono bianche, perchè l'ioduro d'argento non venne decomposto. Ma siccome questo ioduro annerirebbe per l'azione della luce e per conseguenza l'immagine scomparirebbe, si lava la lastra in una soluzione d'iposolfito di soda, la quale discioglie l'ioduro d'argento; per cui l'immagine si rende inalterabile all'azione della luce (1).

(1) *Prove negative sulla carta.* — Si pone la carta sopra un bagno di ioduro di potassio contenente per ogni 100 parti d'acqua 4 parti d'ioduro, avendo cura che il liquido non bagni la faccia posteriore della carta; poi la si lascia asciugare. Per renderla sensibile se ne pone il lato iodurato su di un bagno d'argento, che per ogni 100 parti

Immagine positiva sulla carta. — La prova negativa serve a produrre un numero indeterminato di immagini positive. Per ciò, si colloca su di essa una carta impregnata di cloruro d'argento, e dopo di aver posto il tutto fra due lastre di vetro si espone all'azione della luce, in modo che le parti nere dell'immagine negativa facciano ombra sulla carta preparata col cloruro d'argento. Allora su quest'ultima si produce una copia dell'immagine negativa, in cui le parti rischiarate sono sostituite dalle ombre e viceversa; si ottiene quindi un'immagine positiva. Rimane a fissare questa immagine, ciò che si ottiene lavando la carta, come si disse più sopra, con una soluzione d'iposolfito di soda. Finalmente, per dare i tuoni all'immagine, la si tiene immersa per alcune ore in un bagno di cloruro d'oro che contenga un grammo di cloruro per ogni litro d'acqua.

524. **Immagini positive sul vetro.** — Si ottengono prove positive sul vetro preparando dapprima le lastre come per le negative, nello stesso modo che si disse nel paragrafo precedente: però l'esposizione alla luce nella camera oscura deve durare circa la metà di quella per le prove negative. Indi si immergono in una soluzione di solfato di protossido di ferro. Allora si manifesta subito una immagine, la quale però è negativa. Per renderla positiva, si immerge la lastra in un vaso pieno d'acqua a fine di togliere l'eccedente solfato di ferro, poi vi si versa sopra una soluzione di cianuro di potassio che contenga una parte di cianuro per ogni 10 di acqua. L'immagine allora si rende tersa e diventa positiva. Dopo averla lavata, si copre di vernice da quadro, e finalmente si intinge tutta con uno strato di bitume di Giudea. Questa immagine si guarda poi dall'altra faccia della lastra.

525. **Fotografia sulle lastre di vetro albuminate.** — Le lastre di vetro preparate col collodio hanno l'inconveniente che debbono essere adoperate tosto dopo la loro preparazione, mentre le lastre preparate all'albumina possono conservarsi per otto giorni e più prima di sottoporle all'azione della luce; ma l'azione della luce deve per queste lastre essere prolungata molto più che per quelle preparate col collodio. Perciò vengono adoperate soltanto per vedute e non servono per ritratti.

Il processo di fotografia coll'albumina è dovuto a Niepce di San Victor. Per preparare l'albumina si disguazza un certo numero d'albumi d'uova fino a farli spumeggiare, indi si lascia in quiete, si decanta, poi si aggiunge l'uno per cento di ioduro di potassio e il 25 per 100 di acqua. Così si ottiene un liquido che può essere conservato per parecchi giorni in un vaso ben chiuso.

La lastra di vetro sulla quale si vuol stendere l'albumina deve essere accuratamente pulita, come quando si adopera il collodio (523); indi, si scalda moderatamente questa lastra per far aderire sulla faccia opposta a quella che deve servire per la operazione fotografica un'estremità di un tubo di gutta-percha, il quale serve di manico alla lastra.

Pigliando allora questo manico, si versa sulla medesima uno strato del liquido albuminoso, preparato come si è detto; indi applicando ambo le mani al manico lo si fa rotare rapidamente tra le palme insieme

di acqua contiene 8 parti d'azotato d'argento ed altrettante di acido acetico cristallizzabile, e vi si lascia per alcuni secondi; la carta così preparata si colloca nella camera oscura, e si procede come per le prove negative sul vetro.

(*Nota del Trad.*)

colla lastra. La forza centrifuga spinge allora il liquido albuminoso sovrabbondante verso il lembo della lastra d'onde si toglie col mezzo di una pipetta.

La lastra albuminata ed asciutta è collocata per un minuto in un bagno d'argento che contiene 8 parti di azotato d'argento ed 8 parti di acido acetico cristallizzabile per ogni 100 parti d'acqua. Quando si toglie dal bagno, può essere posta nella camera oscura anche umida; se vuolsi adoperarla asciutta, bisogna togliere l'eccesso di argento lavandola con acqua distillata, poi farla asciugare in un luogo oscuro: allora può essere conservata per parecchi giorni prima di farne uso.

Quando la lastra così preparata ha subìto l'azione della luce nella camera oscura per circa 20 minuti, si fa apparire l'immagine immergendola in una soluzione di acido gallico scaldata leggermente alla lampada. Aggiungendo al bagno di acido gallico alcune gocce di una soluzione di azotato d'argento, si accelera di molto l'apparizione dell'immagine e si ottengono ombre più intense. Finalmente, lavata la lastra in molta acqua, si fissa l'immagine coll'immergerla per 5 minuti in un bagno d'iposolfito di soda che contenga 8 parti di iposolfito per ogni 100 di acqua.

L'immagine così ottenuta è negativa e può servire a dare prove positive sul vetro albuminato o sulla carta (523).

CAPITOLO VI.

DELL'OCCHIO CONSIDERATO COME STRUMENTO D'OTTICA

526. Struttura dell'occhio umano. — L'*occhio* è l'organo della *visione*, di quel fenomeno cioè pel quale la luce emessa e riflessa dai corpi fa nascere in noi la sensazione che ci avverte dalla loro presenza.

L'occhio, situato in una cavità ossea chiamata *orbita*, è trattenuto dai muscoli che servono a muoverlo, dal nervo ottico, dalla congiuntiva, dalle palpebre e dall'aponeurosi orbito-oculare. Tutti questi mezzi che lo trattengono solidamente, gli permettono di eseguire movimenti molto variati ed estesi: il suo volume è presso a poco lo stesso in tutti gli individui; l'apertura variabile delle palpebre soltanto lo fa sembrare più o meno voluminoso.

La figura 408 mostra una sezione traversale dell'occhio dall'avanti all'indietro. Si vede che la sua forma generale è quella di uno sferoide, la cui curvatura alla parte anteriore è maggiore che alla parte posteriore. L'occhio si compone di membrane e di mezzi che sono: la *cornea*, la *sclerotica*, l'*iride*, la *pupilla*, l'*umore acqueo*, il *cristallino*, l'*umor vitreo*, la *membrana ialoidea*, la *coroide*, la *retina* ed il *nervo ottico*.

Cornea. — La cornea *a* è una membrana trasparente situata nella parte anteriore del globo dell'occhio. Essa ha sensibilmente la forma di una piccola calotta sferica avente una base di 11 a 12 millimetri di diametro. La sua circonferenza, tagliata ad ugnatura verso la sua fac-

cia esterna, si incastra nella sclerotica *i*, e l'aderenza di queste due membrane è tale che da alcuni anatomici furono considerate come una membrana unica.

Sclerotica. — La sclerotica *i* è una membrana che insieme alla cornea avviluppa tutte le parti costituenti l'occhio. Essa presenta sul davanti un'apertura quasi circolare nella quale è incastrata la cornea; alla parte posteriore ed interna ha un foro nel quale passa il nervo ottico.

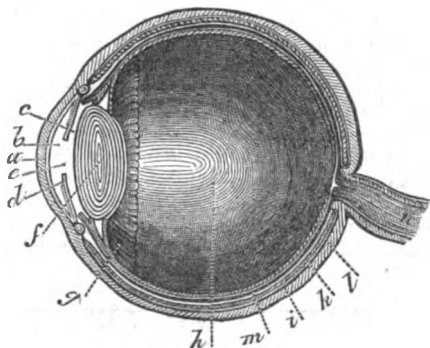



Fig. 408.

Iride. — L'iride *d* è un diaframma annulare, opaco, aderente pel suo perimetro esterno e libero al suo margine centrale. Questa membrana è collocata tra la cornea ed il cristallino, e costituisce la parte colorata dell'occhio; essa ha un'apertura che non trovasi al suo centro ma alquanto verso la parte mediana dell'occhio; tale apertura chiamasi *pupilla*, e nell'uomo è circolare. In altri animali essa è stretta ed allungata in direzione verticale, principalmente in quelli del genere *felis*, ed in direzione traversale nei ruminanti. I raggi luminosi penetrano nell'occhio per mezzo della pupilla. Il suo diametro, variabile in un medesimo individuo, è in media da 3 a 7 millimetri; questi limiti però sono talvolta oltrepassati. Le alternative di ingrandimento e di restringimento della pupilla si effettuano rapidamente; esse sono frequenti ed hanno una parte importante nel fenomeno della visione. La pupilla si restringe sotto l'influenza di una viva luce, e si dilata all'incontro nell'oscurità. Sembra che i movimenti dell'iride siano involontari.

Dietro quanto precede, l'iride è un diaframma di apertura variabile, la cui funzione è quella di regolare la quantità di luce che penetra nell'occhio; giacchè la grandezza della pupilla diminuisce al crescere dell'intensità della luce e viceversa. L'iride serve anche a correggere l'aberrazione di sfericità, coll'impedire ai raggi marginali di attraversare i lembi del cristallino; cioè compie rispetto all'occhio l'ufficio d'un diaframma negli strumenti d'ottica (485).

Umore acqueo. — Tra la parte posteriore della cornea e la parte anteriore del cristallino evvi un liquido trasparente chiamato *umore*

acqueo. Lo spazio *e* occupato da questo umore, è diviso in due compartimenti dall'iride; la parte *b*, compresa tra la cornea e l'iride, chiamasi *camera anteriore;* la parte *c*, che è tra l'iride ed il cristallino, chiamasi *camera posteriore*.

Cristallino. — Il cristallino è un corpo lenticolare *f*, collocato dietro l'iride ed assai vicino a questa membrana. Perfettamente trasparente, il cristallino è avviluppato in una membrana di egual trasparenza, che si chiama *capsula* e che aderisce col suo lembo alla corona annulare formata dai *processi ciliari g*.

La faccia anteriore del cristallino è meno convessa della faccia posteriore. Il suo tessuto è composto di una serie di lamelle quasi concentriche, più dure al centro che alla periferia. Gli strati più superficiali, che sono assai teneri e quasi liquidi, vengono distinti col nome di *umore di Morgagni*. Il potere rifrattivo di questi strati diminuisce dal centro alla periferia.

Umore vitreo, membrana ialoidea. — Chiamasi *umore vitreo* o *corpo vitreo* una massa trasparente, paragonabile all'albume dell'uovo, la quale occupa tutta la parte *h* del globo dell'occhio situata dietro il cristallino. Il corpo vitreo è avviluppato dalla *membrana ialoidea l*, la quale copre tutta la faccia posteriore della capsula cristallina e tutta la faccia interna di un'altra membrana chiamata *retina*.

Retina, nervo ottico. — La retina *m* è una membrana destinata a ricevere l'impressione della luce ed a trasmetterla al cervello per mezzo di un nervo *n*, chiamato *nervo ottico*, il quale parte dal cervello, penetra nell'occhio e si spande a costituire la retina sotto forma di una rete nervosa.

La retina ed il nervo ottico non godono che la proprietà speciale di ricevere e trasmettere al cervello l'impressione delle immagini; sono affatto insensibili all'azione dei corpi vulneranti; infatti questi organi furono tagliati e punti senza che gli animali sottoposti a questa esperienza abbiano mostrato il minimo dolore.

Coroide. — La coroide *k* è una membrana posta tra la retina e la sclerotica. Essa è essenzialmente vascolare e ricoperta, principalmente sulla faccia interna, da una materia nera, simile al pigmento della pelle dei negri, e destinata ad assorbire tutti i raggi che non devono cooperare alla visione.

La coroide si prolunga in avanti, formando una serie di pieghe sporgenti *g*, che si chiamano *processi ciliari*, e che si insinuano tra l'iride e la capsula cristallina, alla quale aderiscono formando intorno ad essa un disco assai somigliante a quello d'un fiore raggiato. La coroide, per mezzo del suo tessuto vascolare, serve a trasportare il sangue nell'interno dell'occhio e principalmente ai processi ciliari.

527. **Indici di rifrazione dei mezzi trasparenti dell'occhio.** — Gli indici di rifrazioni delle parti trasparenti dell'occhio furono determinati da Brewster. Essi sono esposti nella tabella seguente, unitamente a quello dell'acqua preso per termine di confronto:

Acqua	1,3358	Inviluppo esterno del cristallino .	1,3767
Umore acqueo	1,3366	Centro del cristallino	1,3990
Umore vitreo	1,3391	Rifrazione media del cristallino. .	1,3839

528. **Curvature e dimensioni delle diverse parti dell'occhio umano.** —

Raggio di curvatura della sclerotica . . . . 10 a 11 millimetri.
» della cornea . . . . 7 a 8 »

Raggio della faccia anteriore del cristallino	7 a 10	millimetri.
» della faccia posteriore	5 a 6	»
Diametro dell'iride	11 a 12	»
» della pupilla	3 a 7	»
» del cristallino	10	»
Grossezza del cristallino	5	»
Distanza della pupilla dalla cornea	2	»
Lunghezza dell'asse dell'occhio	22 a 24	»

La curvatura della cornea, secondo Chossat, è quella di un elissoide di rivoluzione attorno il suo asse maggiore, e la curvatura del cristallino quella di un elissoide di rivoluzione attorno al suo asse minore.

529. **Andamento dei raggi nell'occhio.** — Dietro l'esame delle diverse parti che compongono l'occhio, si può paragonare quest'organo ad una camera oscura (516) della quale la pupilla è l'apertura, il cristallino la lente convergente e la retina il diaframma su cui si dipinge l'immagine. L'effetto è adunque uguale a quello pel quale, al foco coniugato di una lente biconvessa, si forma l'immagine di un oggetto collocato avanti alla lente. Suppongasi infatti un oggetto AB (fig. 409), collocato davanti all'occhio, e si considerino i raggi emessi da un punto

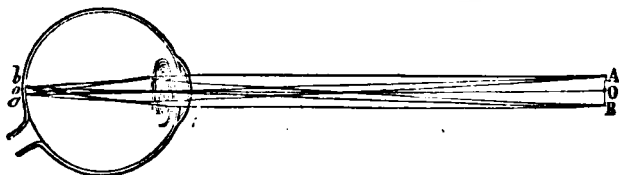



Fig. 409.

qualunque A di questo oggetto. Di tutti questi raggi, quelli che sono diretti verso la pupilla sono i soli che penetrino nell'occhio e che siano utili alla visione. Questi raggi, al loro ingresso nell'umore acqueo, subiscono una prima rifrazione che li avvicina all'asse A*a*, condotto dal centro ottico del cristallino; indi incontrano quest'ultimo che li rifrange di nuovo come una lente biconvessa; e finalmente, dopo aver subita un'ultima rifrazione nell'umore vitreo, concorrono in un punto *a* e vi formano l'immagine del punto A. Siccome i raggi partiti dal punto B formano del pari in *b* l'immagine di questo punto, così ne risulta un'immagine *ab* assai piccola, reale e rovesciata, che si forma esattamente sulla retina quando l'occhio è ben conformato.

530. **Rovesciamento delle immagini.** — Per assicurarsi che le immagini formate sulla retina sono realmente rovesciate, si prende un occhio d'albino, perchè essendo la coroide degli occhi di questi animali priva di pigmento, la luce può attraversarli completamente; si spoglia la parte posteriore di quest'occhio del tessuto cellulare che la inviluppa. Così preparato, lo si fissa ad un'apertura praticata nell'imposta di una camera oscura, e per mezzo di una lente si vedono dipingersi sulla retina le immagini rovesciate degli oggetti esterni.

Il rovesciamento delle immagini nell'occhio ha occupato molto i fisici ed i fisiologi, e numerose teorie furono proposte per ispiegare come

noi non vediamo gli oggetti rovesciati. Alcuni ammisero che l'abitudine ed una vera educazione dell'occhio ci faccia vedere gli oggetti raddrizzati, cioè nella loro posizione relativa rispetto a noi. Altri pensano che noi riferiamo il luogo reale degli oggetti nella direzione dei raggi luminosi che essi emettono, e siccome questi raggi si incrociano nel cristallino (fig. 409), l'occhio vede i punti A e B rispettivamente nella direzione *a*A e *b*B; quindi l'oggetto sembra dritto. Tale era l'opinione di Dalembert. Muller, Volkmann ed altri sostengono che siccome noi vediamo tutti gli oggetti rovesciati e non già un solo, così nessuno di essi ci può sembrare rovesciato, poichè non ci rimane più verun termine di confronto. Nessuna di queste teorie però è abbastanza soddisfacente.

531. **Asse ottico, angolo ottico, angolo visuale.** — Si chiama *asse ottico principale* di un occhio il suo asse di figura, cioè la retta rispetto alla quale esso è simmetrico. In un occhio ben conformato, l'asse ottico principale è la retta che passa pel centro della pupilla e pel centro del cristallino; tale è la retta O*o* (fig. 409). Le linee A*a*, B*b*, che sono sensibilmente rette, sono assi secondari. L'occhio vede gli oggetti colla maggior chiarezza nella direzione dell'asse ottico principale.

L'*angolo ottico* è l'angolo BAC (fig. 410) formato dagli assi ottici principali dei due occhi, quando sono diretti verso uno stesso punto. Quest'angolo è tanto più piccolo quanto più gli oggetti sono lontani.

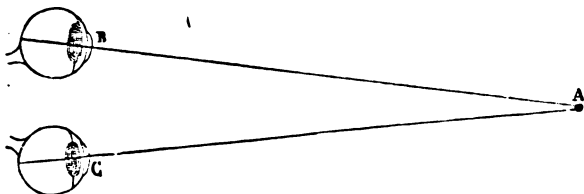



Fig. 410.

L'*angolo visuale* è l'angolo AOB (fig. 411) sotto il quale è veduto un oggetto, cioè l'angolo formato dagli assi secondari condotti dal centro ottico del cristallino alle estremità opposte dell'oggetto. Per una

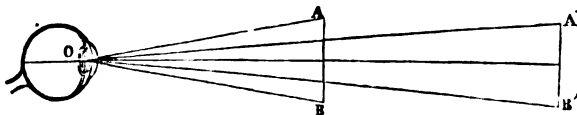



Fig. 411.

distanza medesima quest'angolo diminuisce colla grandezza dell'oggetto, e per uno stesso oggetto diminuisce colla distanza, come avviene quando l'oggetto passa da AB in A'B'. Ne risulta che gli oggetti sembrano tanto più piccoli quanto più sono lontani, perchè siccome gli assi secondari AO, BO si incrociano al centro del cristallino, la grandezza dell'immagine proiettata sulla retina dipende dal valore dell'angolo visuale AOB.

532. **Valutazione della distanza e della grandezza degli oggetti.** — La valutazione della distanza e della grandezza degli oggetti dipende dal concorso di parecchie circostanze che sono: l'angolo visuale, l'angolo ottico, il paragone con oggetti la cui grandezza ci è nota, la diminuzione di chiarezza dell'immagine per l'interposizione di un'aria più o meno carica di vapori.

Quando si conosce la grandezza di un oggetto, come la statura di un uomo, l'altezza di un albero o di una casa, se ne valuta la distanza dall'apertura dell'angolo visuale sotto il quale lo si vede. Se la grandezza dell'oggetto è sconosciuta, la si deduce da quella degli oggetti che lo circondano.

Le colonne, gli alberi disposti in fila ci sembrano diminuire di grandezza a misura che la loro distanza aumenta, perchè l'angolo visuale diminuisce; ma l'abitudine di vedere colonne, alberi, coll'altezza loro propria, fa sì che il nostro giudizio rettifica l'apparenza prodotta dalla visione. Del pari, quantunque le montagne assai lontane si vedano sotto un piccolissimo angolo e non occupino che poco spazio nel campo della visione, pure abituati agli effetti di prospettiva aerea, noi valutiamo la grandezza loro reale.

L'angolo ottico è pure un elemento essenziale per giudicare della distanza; siccome quest'angolo aumenta o diminuisce all'avvicinarsi od allontanarsi degli oggetti, così i movimenti che imprimiamo ai nostri occhi perchè i loro assi ottici concorrano verso l'oggetto che guardiamo, ci dà l'idea della sua distanza. Tuttavia, solo per una lunga abitudine giungiamo a stabilire per tal modo una relazione fra la distanza che ci separa dagli oggetti ed i movimenti corrispondenti dei nostri occhi. Si osserva infatti che i ciechi dalla nascita, ai quali siasi resa la vista coll'operazione della cataratta, giudicano dapprincipio che tutti gli oggetti si trovino alla medesima distanza.

533. **Distanza della visione distinta.** — Chiamasi *distanza della visione distinta* la distanza alla quale devono essere collocati gli oggetti per essere veduti colla maggiore chiarezza. Questa distanza è varia nei diversi individui e sovente, in un medesimo individuo, varia da un occhio all'altro. Per piccoli oggetti come sono i caratteri di stampa, allo stato normale dell'occhio, essa è di 25 a 30 centimetri. Le persone che vedono distintamente solo a distanza minore sono *miopi*, e quelle che vedono solo a distanza maggiore sono *presbiti* (544).

534. **Adattamento dell'occhio a tutte le distanze.** — L'occhio presenta una rimarchevole proprietà che non si trova nel medesimo grado in nessun istrumento di ottica: ed è che, quantunque le immagini tendano a formarsi tanto più all'innanzi della retina quanto più gli oggetti sono lontani (481), pure esse si formano sempre su questa membrana; perchè l'occhio vede chiaramente a distanze molto differenti, partendo da quella che corrisponde alla visione distinta. Tuttavia se noi possiamo vedere chiaramente a distanze molto differenti, non lo possiamo però simultaneamente, ciò che indica qualche modificazione nel sistema dell'occhio od almeno la necessità di fissare la nostra attenzione sull'oggetto che vogliamo vedere. Infatti, se si prendono di mira due oggetti allineati, situati, per es., uno ad un metro di distanza dall'occhio e l'altro a due, fissando il primo oggetto, il secondo sembra torbido, mentre invece fissando il secondo, sembra torbido il primo. Se ne conchiude che quando l'occhio è stato disposto per vedere ad

una certa distanza, non può vedere simultaneamente ad altra distanza, ma che può successivamente adattarsi all'una ed all'altra.

Molte ipotesi furono proposte per ispiegare come l'occhio possa vedere chiaramente a distanze assai differenti. Mile e Pouillet ne ritengono causa le dilatazioni e le contrazioni della pupilla. Il primo opina che i raggi luminosi provino, sui lembi dell'iride, una diffrazione od inflessione che può far molto variare le distanze focali. Pouillet, fondandosi sulla ineguale rifrangibilità del cristallino, la quale diminuisce dal centro alla circonferenza, ed osservando che ne deve risultare una serie di fochi, i più vicini dei quali sono formati dai raggi che attraversano il cristallino più vicino al suo centro, ammette che dilatandosi più o meno la pupilla, gli oggetti allontanati sono veduti attraverso ai lembi del cristallino ed i più vicini attraverso alla parte centrale. Si osserva infatti che le contrazioni e le dilatazioni del foro pupillare sono collegate coll'adattamento dell'occhio alle distanze; ma importa osservare che esse sono collegate anche colle variazioni d'intensità della luce e che, per una medesima distanza, l'apertura della pupilla può variare di molto.

Rohaut, Olbers ed altri hanno emessa l'opinione che il diametro dell'occhio, dall'innanzi all'indietro, possa variare sotto l'influenza della pressione dei muscoli che lo fanno muovere, in modo di avvicinare la retina al cristallino o di allontanarnela, nel medesimo tempo che anche l'immagine si avvicina o si allontana; perchè si sa (478) che nelle lenti convergenti, l'immagine si avvicina a misura che l'oggetto si allontana.

Hunter e Young hanno attribuita al cristallino una contrattilità, in virtù della quale prende una forma più o meno convessa, in modo di far sempre convergere i raggi sulla retina.

Kepler, Camper e molti altri ammisero che per l'azione dei processi ciliari, il cristallino possa spostarsi ed avvicinarsi più o meno alla retina.

Finalmente, si ammise che la chiarezza della visione a distanze molto differenti possa provenire, non già dagli spostamenti della retina o del cristallino per cui l'immagine venga a formarsi sempre sulla retina, ma bensì dall'essere le variazioni della distanza focale del cristallino, a misura che gli oggetti si allontanano, abbastanza piccole perchè l'immagine conservi ancora una chiarezza sufficiente.

Quest'ultima teoria è confermata dalla esperienza di Magendie e da quelle di de Haldat. Il primo ha osservato, per mezzo di un occhio di albino, che la chiarezza delle immagini non variava per oggetti collocati a distanze molto differenti; e de Haldat ha trovato che, collocando un cristallino come obbiettivo all'imposta di una camera oscura, si ottengono, sopra un vetro smerigliato, le immagini egualmente chiare degli oggetti esterni, si trovino questi alla distanza di 3 o 4 decimetri od a quella di 20 a 30 metri. Questa proprietà del cristallino allo stato d'inerzia sembra contraria alle leggi della rifrazione; essa deve essere attribuita alla struttura di quest'organo, la quale lo distingue totalmente dalle lenti ordinarie. De Haldat non diede la spiegazione di questi fenomeni.

535. **Visione semplice coi due occhi.** — Quando i due occhi si fissano sopra un medesimo oggetto, si forma una immagine sopra ciascuna retina, e tuttavia noi vediamo un solo oggetto. Per ispiegare la vi-

sione semplice coi due occhi, Gassendi ammetteva che in un medesimo istante la percezione non ha luogo che per l'una o per l'altra immagine, il che non può ammettersi dopo le esperienze di Wheatstone che riporteremo più innanzi.

Taylor e Wollaston opinano che due punti omologi di destra o di sinistra corrispondano sulla due retine ad un medesimo filo nervoso cerebrale destro o sinistro, biforcato all'incrociamento dei due nervi ottici. Questa opinione è d'accordo con un fatto che si osserva in alcuni individui, ed è la paralisi transitoria della retina, per metà e dalla medesima parte per ciascun occhio destro o sinistro simultaneamente, in modo che gli individui affetti da tal malattia non vedono che la metà destra o la metà sinistra degli oggetti. Wollaston ed Arago hanno osservato sopra loro stessi questa affezione della retina.

Brewster attribuisce l'unità di sensazione all'abitudine che noi acquistiamo di riferire ad un medesimo oggetto le impressioni simultanee prodotte sulle due retine.

Ecco i principali fatti che si osservano nella visione coi due occhi: si vede più chiaro con due occhi che con un solo; guardando un oggetto prima con un sol occhio, poi con due, la differenza di chiarezza è assai sensibile.

Quando i due occhi sono fissati ciascuno sopra un oggetto differente in modo che i due assi ottici concorrano al di là od al di qua di questi oggetti, possono prodursi delle illusioni ottiche rimarchevoli. Per es., osservando due oggetti identici e di piccole dimensioni *a* e *b*, col mezzo di due tubi isolanti che diano agli assi ottici dei due occhi le direzioni concorrenti *a*O e *b*O (fig. 412), non si vede che un oggetto unico, ma più lontano, al punto di incontro O dei due assi.

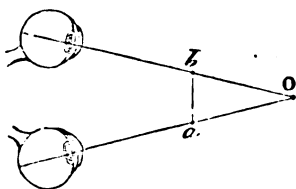
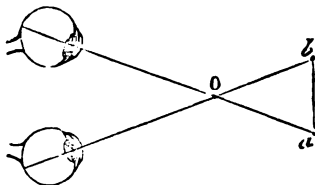



Fig 412. Fig. 413.

Se il punto d'incrociamento dei due assi è davanti ai punti che si guardano (fig. 413), non si vede ancora che un solo oggetto, ma più vicino, situato in O.

Se gli oggetti *a* e *b* sono due piccoli dischi, l'uno rosso e l'altro verde, si vede un disco bianco, perchè il rosso ed il verde sono due colori complementari (491). Queste diverse esperienze dimostrano che le impressioni nei due occhi sono simultanee e si sovrappongono per dare una sensazione unica.

536. **Causa del rilievo dei corpi.** — Sono dovute a Wheatstone numerose esperienze che mostrano una differenza essenziale fra la visione coi due occhi e la visione con un occhio solo. Da queste esperienze risulta che solo coi due occhi si può avere una percezione distinta del rilievo dei corpi, cioè delle loro tre dimensioni. È anzi probabile che

anche con un solo occhio noi valutiamo il rilievo soltanto perchè gli oggetti che noi guardiamo ci sono generalmente noti. Infatti, nella visione coi due occhi, quando l'oggetto trovasi a poca distanza, dovendo i due assi convergere verso l'oggetto, ne risulta che la prospettiva cangia per ciascun occhio e che le due immagini sono sensibilmente ineguali. Ciò si può facilmente constatare guardando alternativamente un medesimo oggétto con ciascun occhio. Per esempio, supponiamo che si guardi dall'alto una piccola piramide regolare C, a base esagonale (fig. 415), ponendosi in modo che la verticale condotta dal suo

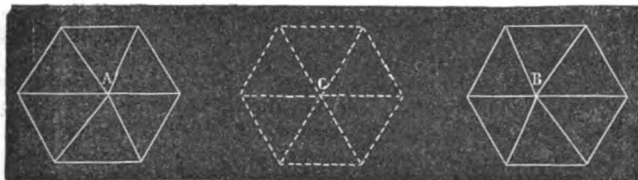



Fig 414. Fig. 415. Fig. 416.

vertice passi esattamente fra i due occhi. Quest'ultimi essendo aperti ambidue, la si vede come è rappresentata nella figura 415. Ma se, conservando la stessa posizione, si chiude l'occhio sinistro, l'occhio diritto vede in tal caso solo la piramide; e la vede come mostra la fig. 416, le facce laterali sinistre essendo vedute più in iscorcio che non le diritte. Al contrario se si chiude l'occhio destro, si scorge la piramide come è disegnata nella figura 414; vale a dire che sono le facce laterali di diritta che si vedono ora più in iscorcio. È dunque dimostrato che le immagini percepite dai due occhi non sono identiche; rimane a constatare coll'esperienza, che sia appunto dalla simultanea percezione di queste due immagini che risulta il rilievo apparente dei corpi.

537. **Stereoscopio.** — Fu appoggiandosi sulle considerazioni che precedono che Wheatstone immaginò, nel 1838, un ingegnoso apparecchio mediante il quale si vedono in rilievo le immagini, su di una superficie piana, di oggetti a tre dimensioni. Da ciò il nome di *stereoscopio* dato a questo apparecchio, derivato da due parole greche che significano *veder solido*.

Il principio dello stereoscopio consiste nel porre davanti a ciascun occhio una immagine differente di uno stesso oggetto, ciascun immagine rappresentando l'oggetto, l'una colla prospettiva corrispondente all'occhio destro, l'altra con quella corrispondente all'occhio sinistro, quando guardano questo oggetto ad una piccola distanza. Se si dispone in tal caso l'apparecchio in modo, che l'occhio destro non vedendo che l'immagine che gli è destinata, e l'occhio sinistro l'altra, le due immagini si sovrappongono, ed è evidente che deve formarsi su ciascuna retina esattamente la stessa immagine che se si guardasse l'oggetto stesso. Infatti, si ottiene così una percezione così viva e distinta del rilievo, che l'illusione è completa e veramente sorprende.

Nello stereoscopio costrutto da Wheatstone, è per riflessione su due specchi piani che si ottiene la sovrapposizione delle due immagini. Ma nello stereoscopio modificato da Brewster, e come si costruisce al giorno d'oggi, la sovrapposizione delle due immagini si produce me-

diante due lenti convergenti. La figura 417 mostra quale sia il cammino dei raggi nell'apparecchio. In A trovasi il disegno che si deve guardare coll'occhio sinistro, e in B quello destinato all'occhio destro. Al disopra sono due lenti *m* e *n* che sono rispettivamente gli oculari dei due occhi. Ora, i raggi partiti dai due punti omologi delle immagini si rifrangono al loro passaggio in queste lenti e prendono le stesse direzioni che se fossero partiti dal punto C. È dunque in questo punto che si sovrappongono le immagini virtuali dei disegni A e B e che apparisce l'oggetto con un rilievo di una fedeltà perfetta. Per esempio, se si pongono in B e in A le due figure 414 e 416, si scorge in C un'immagine unica e in rilievo della piramide, quale è rappresentata nella figura 415.

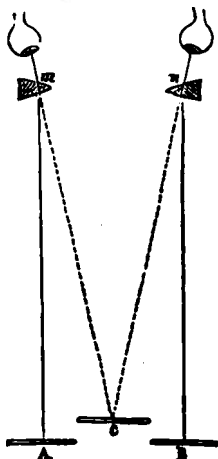



Fig. 417.

È indispensabile che le due lenti *m* e *n* imprimino rigorosamente la stessa deviazione ai raggi, e perciò esse devono essere identiche. Brewster raggiunse questo risultato dimezzando una lente biconvessa e ponendo la metà diritta davanti l'occhio sinistro, e la metà sinistra davanti l'occhio destro, come mostra la figura.

Mediante lo stereoscopio, Foucault e il dottor Regnault hanno constatato che quando le due retine sono simultaneamente impressionate da due colori diversi, vi ha percezione di un colore misto unico. Ma hanno riconosciuto che l'attitudine alla ricomposizione delle due tinte in una tinta unica varia in modo notabile da un individuo ad un altro, e può essere eccessivamente debole, ed anche nulla in qualche persona. Rischiarando con due fasci di colori complementari (491) due dischi bianchi posti sul fondo dello stereoscopio, e guardando ciascun disco colorato con un occhio, si vede un disco bianco unico, ciò che mostra che la sensazione della luce bianca può nascere da due impressioni cromatiche complementarie e simultanee su ciascuna delle due retine.

538. **Parte insensibile della retina.** — La retina non è ugualmente sensibile in tutte le sue parti, come prova la seguente esperienza di Mariotte: si segnano due punti neri sopra una carta bianca, ad alcuni centimetri di distanza l'uno dall'altro; poi, avvicinando molto la carta agli occhi, si fissa il punto sinistro coll'occhio destro, il che non impedisce di vedere l'altro punto; ma se si allontana lentamente la carta, il punto a destra sparisce ad una certa distanza, per ricomparire ben tosto se si continua ad allontanare la carta. Lo stesso accade se si osserva il punto destro coll'occhio sinistro.

Mariotte ha osservato che al momento in cui il punto cessa di essere visibile, la sua immagine si proietta appunto sulla intersezione del nervo ottico alla parte interna ed inferiore dell'occhio. A questo punto insensibile all'azione della luce si diede il nome di *punto cieco*.

539. **Persistenza dell'impressione sulla retina.** — Quando si fa girare rapidamente un carbone acceso, si vede come un nastro continuo di fuoco; del pari la pioggia che cade sotto forma di grosse gocce ci appare nell'aria come una serie di fili liquidi. Queste varie apparenze

sono dovute alla persistenza delle immagini sulla retina anche dopo che l'oggetto che l'ha prodotta è scomparso o si è spostato. La durata di questa persistenza varia colla sensibilità della retina e coll'intensità della luce. Plateau, a Bruxelle, ha trovato con differenti metodi che essa è in media di un mezzo secondo.

L'impressione dei colori persiste quanto quella della forma degli oggetti; perchè se si fanno rotare dei cerchi divisi in settori dipinti a vari colori, questi colori si confondono e danno la sensazione del colore che risulterebbe dalla loro mescolanza. Il turchino ed il giallo danno il verde; il giallo ed il rosso, il ranciato; il turchino ed il rosso, il violetto; i sette colori dello spettro, il bianco, come lo dimostra il disco di Newton (489, 5.°).

Esistono parecchi apparati curiosi i cui effetti si spiegano colla persistenza delle sensazioni sulla retina; tali sono il *taumatropio,* il *fenachisticopio,* la *ruota di Faraday,* il *caleidofono.*

540. **Immagini accidentali.** — Se si guarda attentamente per un certo tempo un oggetto colorato collocato sopra un fondo nero, la vista è ben presto affaticata e l'intensità del colore si indebolisce; dirigendo allora gli occhi sopra un cartone bianco od alla vôlta, si scorge un'immagine della stessa forma dell'oggetto ma di colore complementario (491), cioè che se fosse riunito con quello dell'oggetto formerebbe il bianco. Per un oggetto verde l'immagine è rossa; e reciprocamente se l'oggetto è giallo, l'immagine è violetta. Queste apparenze colorate furono osservate da Buffon, il quale diede loro il nome di *immagini* o *colori accidentali.*

I colori accidentali persistono tanto più quanto più l'oggetto era illuminato e quanto più a lungo lo si è osservato. Essi non si estinguono, in generale, in modo progressivo continuo, ma ordinariamente offrono delle sparizioni e delle riapparizioni alternative. Si osserva inoltre che se, dopo aver contemplato un oggetto colorato, si chiudono rapidamente gli occhi, difendendoli il meglio possibile da ogni luce col mezzo di una stoffa compatta, le immagini accidentali appariscono egualmente.

Molte teorie furono proposte per ispiegare il fenomeno dei colori accidentali. Darwin ammise:

1.° Che la parte della retina affaticata da un colore diventi insensibile ai raggi di questo colore e non sia più impressionata che dal suo colore complementario;

2.° Che questa parte della retina prenda *spontaneamente* un modo di azione *opposto* il quale produce la sensazione del colore complementario.

La prima parte di questa teoria non ispiega il fatto suesposto che i colori accidentali appaiano anche nell'oscurità; e la seconda parte non è che l'enunciato medesimo del fenomeno delle immagini accidentali.

541. **Irradiazione.** — L'*irradiazione* è un fenomeno pel quale gli oggetti bianchi o di un colore assai vivo, quando sono veduti sopra un fondo oscuro, sembrano avere dimensioni maggiori di quelle che hanno realmente. Il contrario ha luogo per un oggetto nero veduto sopra un fondo bianco. Si ammette che l'irradiazione provenga dalla estensione maggiore o minore al di là del contorno dell'immagine che assume l'impressione sulla retina.

L'effetto dell'irradiazione influisce assai sulla grandezza apparente degli astri, i quali ponno sembrare molto più grandi che non siano realmente.

Secondo le ricerche di Plateau, l'irradiazione varia assai da una persona all'altra, ed anche, per una medesima persona, da un giorno all'altro. Questo scienziato constatò inoltre che l'irradiazione cresce colla chiarezza dell'oggetto e la durata della contemplazione. Finalmente essa si manifesta a tutte le distanze; è accresciuta dalle lenti divergenti e diminuita dalle convergenti.

542. **Aureola accidentale, contrasto dei colori.** — Si chiamano *aureole accidentali* quei colori che invece di succedere all'impressione di un oggetto, come i colori accidentali, appaiono attorno all'oggetto stesso quando lo si guarda attentamente. L'impressione dell'aureola è opposta a quella dell'oggetto; cioè che se questo si disegna in chiaro, l'aureola è oscura, ed è chiara se l'oggetto è oscuro.

Il *contrasto dei colori* è una reazione reciproca che si esercita tra i due colori vicini, reazione in forza della quale a ciascuno di essi si unisce il colore complementario dell'altro. Questo contrasto fu osservato da Chevreul, il quale ne fece uno studio profondo e ne ha data la legge. L'influenza reciproca delle aureole accidentali spiega il contrasto dei colori.

Chevreul ha trovato che ponendo accanto l'uno all'altro i colori rosso e ranciato, il rosso tende al violetto ed il ranciato al giallo. Se si esperimenta sul rosso ed il turchino, il primo colore tende al giallo ed il secondo al verde; col giallo ed il turchino, il giallo passa al ranciato ed il turchino all'indaco; e così di seguito per un gran numero di combinazioni. Si comprende quanto importi di saper apprezzare l'effetto del contrasto dei colori nella fabbricazione delle stoffe, dei tappeti, ecc.

543. **L'occhio non è acromatico.** — Per molto tempo venne attribuito all'occhio umano un acromatismo perfetto (499); ma questa opinione non può essere ammessa in modo assoluto dopo le diverse esperienze di Wollaston, di Young, di Fraünhofer e di Müller.

Fraünhofer ha osservato che un filo assai sottile collocato entro un canocchiale a due lenti, al foco dell'obbiettivo, si vede distintamente attraverso all'oculare, quando il canocchiale è illuminato soltanto colla luce rossa; e che il filo cessa d'essere visibile se si rischiara il canocchiale colla luce violetta restando l'oculare nella medesima posizione. Ora, si osserva che per vedere di nuovo il filo bisogna diminuire la distanza delle lenti molto più di quello che indica il grado di rifrangibilità della luce violetta nel vetro. Bisogna adunque ammettere che in questa esperienza avvi un effetto dovuto all'aberrazione di rifrangibilità dell'occhio.

Müller, contemplando con un occhio solo un disco bianco posto sopra un fondo nero, ha trovato che l'immagine è pura quando l'occhio è adattato alla distanza del disco, cioè quando l'immagine si forma sulla retina; ma che se l'occhio non è adattato a questa distanza, cioè se l'immagine si forma avanti o dietro alla retina, il disco sembra circondato da una lista turchina assai stretta.

Müller conchiuse dalle sue esperienze che l'occhio è acromatico quando l'immagine è ricevuta alla distanza focale e quando si adatti alla distanza dell'oggetto. Non si potè finora indicare precisamente la causa di questo acromatismo apparente dell'occhio; generalmente però la si attribuisce alla tenuità dei fasci luminosi che passano per l'apertura pupillare, ed ai raggi inegualmente rifrangibili che incontrano le su-

perficie dei mezzi dell'occhio sotto incidenze quasi normali, che sono pochissimo rifratti, per cui la aberrazione di rifrangibilità è insensibile (498).

Si è già veduto come l'aberrazione di sfericità è corretta dall'iride (526), vero diaframma che arresta i raggi che tendono ad attraversare il cristallino vicino al lembo, e lascia passare soltanto i più vicini all'asse.

544. **Miopia, presbitismo.** — Le affezioni più comuni dell'organo della vista sono la miopia ed il presbitismo. La *miopia* è un adattamento abituale degli occhi ad una distanza minore di quella della visione ordinaria, in modo che le persone che ne sono affette vedono distintamente soltanto gli oggetti assai vicini. La causa ordinaria della miopia è una soverchia convessità della cornea o del cristallino; siccome l'occhio allora è troppo convergente, il foco invece di formarsi sulla retina si forma davànti ad essa, ciò che rende l'immagine confusa. Si rimedia a questo difetto dell'occhio col mezzo di lenti divergenti le quali, allontanando i raggi dal loro asse comune, fanno retrocedere il foco e lo portano sulla retina.

La contemplazione abituale di piccoli oggetti, le osservazioni microscopiche ponno produrre la miopia. Questo vizio di conformazione è comune nei giovani e diminuisce coll'età.

Il *presbitismo* è il difetto contrario della miopia. In questa affezione l'occhio vede benissimo gli oggetti lontani, ma non distingue chiaramente gli oggetti vicini. Il presbitismo è prodotto dalla poca convergenza dell'occhio, per cui l'immagine degli oggetti vicini si forma al di là della retina; ma se gli oggetti si allontanano, l'immagine si avvicina alla retina (478), e, quando sono ad una distanza conveniente, essa si forma esattamente su questa membrana; allora la visione è distinta.

Il presbitismo si corregge per mezzo di occhiali a lenti convergenti. Siccome queste lenti avvicinano i raggi prima del loro ingresso nell'occhio, ne risulta che, quando abbiano una convergenza conveniente, l'immagine può essere ricondotta esattamente sulla retina.

Pochi anni or sono si faceva ancora uso soltanto di lenti biconvesse pei presbiti e di biconcave pei miopi. Wollaston propose, pel primo, di surrogare a queste lenti le lenti concavo-convesse C ed F (fig. 339), collocate in modo che le loro curvature siano disposte come quella dell'occhio.

Con queste lenti si ponno distinguere più chiaramente gli oggetti lontani che circondano l'asse ottico, epperò furono chiamate *lenti periscopiche*.

545. **Occhiali.** — Le lenti di cui si servono i miopi ed i presbiti si designano col nome generico di *occhiali*. Sopra queste lenti si incidono ordinariamente dei numeri che indicano *in pollici* la loro distanza focale.

Si può calcolare il numero conveniente per un presbite o per un miope, quando si conosca la distanza alla quale egli vede distintamente. Pei presbiti si fa uso della formola $f = \frac{pd}{d-p}$ [1], nella quale f è il numero della lente che si deve adottare, p la distanza delle visioni ordinarie, la quale è di 30 centimetri od 11 pollici, e d la distanza della visione distinta della persona affetta da presbitismo.

La formola [1] precedente si deduce dalla equazione $\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$ (486), sostituendovi d a p'. Qui si adopera la formola [6] del paragrafo 486, e non la formola [5], per-

chè siccome l'immagine che si vede negli occhiali trovasi dalla stessa parte dell'oggetto rispetto alla lente, il segno di p' deve essere contrario a quello di p, come accade per le immagini virtuali, secondo ciò che si è detto nel sucitato paragrafo.

Pei miopi si calcola f colla formola relativa alle lenti divergenti (486) $\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$, la quale dà $f = \frac{pd}{p-d}$ [2] rimpiazzando p' con d.

Sia proposto, per es., di calcolare il numero di lenti conveniente per un presbite, pel quale la distanza della visione distinta è di 35 pollici, ritenuto che la distanza della visione distinta ordinaria sia di undici pollici. Ponendo $p = 11$ e $d = 35$, nella formola precedente [1], si trova $f = \frac{35 \times 11}{35-11} = 16$.

La misura della distanza della visione distinta si ottiene con sufficiente precisione mediante un piccolo apparato detto *ottometro*.

546. **Diplopia**. — La *diplopia* è un'affezione dell'occhio per la quale si vedono gli oggetti doppi, ossia si vedono due oggetti in luogo di uno. In generale, le due immagini si sovrappongono quasi interamente e l'una di esse è molto più appariscente dell'altra. La diplopia può provenire dall'ineguaglianza dei due occhi; ma può anche svilupparsi in un occhio solo. In quest'ultimo caso è senza dubbio dovuta a qualche difetto di conformazione del cristallino o di altre parti dell'occhio, il quale fa sì che il fascio luminoso si bipartisca e formi sulla retina due immagini invece di una. Un solo occhio può essere affetto anche da *triplopia;* ma in questo caso la terza immagine è debolissima.

547. **Acromatopsia.** — Chiamasi *acromatopsia* un'affezione singolare che ci rende incapaci di giudicare i colori, od almeno certi colori. Infatti, in alcune persone l'insensibilità è completa, mentre altri distinguono alcuni colori. Le persone affette da questo vizio distinguono benissimo i contorni dei corpi, le parti illuminate o nell'ombra, ma non distinguono i colori.

D'Hombres-Firmas racconta che una persona affetta d'acromatopsia avea dipinto nel proprio appartamento, al di sopra di una porta, un paesaggio in cui il terreno, gli alberi, le case e le persone erano turchine. Interrogata perchè non avesse dato a ciascun oggetto il rispettivo colore, rispose che aveva voluto dare al suo disegno un colore simile a quello della sua tappezzeria; ora questa era rossa.

All'acromatopsia si dà il nome anche di *daltonismo*, perchè Dalton che l'ha descritta con cura, ne era affetto.

CAPITOLO VII.

SORGENTI DI LUCE, FOSFORESCENZA

548. **Diverse sorgenti di luce.** — Le diverse sorgenti di luce sono il sole, le stelle, il calorico, le combinazioni chimiche, la fosforescenza, l'elettricità ed i fenomeni meteorici. Di queste due ultime sorgenti di luce tratteremo agli articoli *Elettricità* e *Meteorologia.*

L'origine della luce emessa dal sole e dalle stelle è sconosciuta; si ammette soltanto che la sostanza infiammata di cui sembra cinto il sole sia gasosa, perchè la luce di questo astro, come quella emessa dalle so-

stanze gasose infiammate, non lascia scorgere alcuna traccia di polarizzazione nei canocchiali polariscopici (568).

Riguardo alla luce sviluppata dal calorico, Pouillet verificò che i corpi incominciano a diventar luminosi nell'oscurità ad una temperatura di 500 a 600 gradi, e che, al di là di questo limite, la luce che emettono è tanto più viva quanto più elevata è la loro temperatura.

Un gran numero di combinazioni chimiche danno origine ad uno svolgimento di luce a motivo dell'innalzamento di temperatura da cui sono accompagnate. Tale è la causa delle luci artificiali impiegate per l'illuminazione; perchè, come si è già veduto (417), le fiamme non sono altro che sostanze gasose scaldate al punto di diventare luminose.

Siccome i corpi divengono luminosi ad una temperatura elevata, sembra che il calorico in tal caso si trasformi in luce, ciò che tenderebbe a provare che questi due agenti debbono essere riferiti ad una sola ed identica causa, principalmente se si osserva che i raggi luminosi sono accompagnati, in generale, dai raggi calorifici. Tuttavia l'identità non è completa, perchè si conoscono parecchie sostanze le quali ponno essere luminose nell'oscurità senza svolgere calorico, o svolgendone una quantità così piccola che non può essere valutata cogli strumenti termometrici anche i più sensibili. I corpi che splendono in tal guisa nell'oscurità si chiamano *fosforescenti*, perchè questa proprietà si osserva principalmente nel fosforo, detta appunto da lui *fosforescenza*.

549. **Fosforescenza, sue fonti.** — La *fosforescenza* è la proprietà posseduta da un gran numero di sostanze di emettere la luce quando siano collocate in certe condizioni.

Ed. Becquerel, che ha fatto uno studio profondo sulla fosforescenza e arrivò a notabilissimi risultati, riferisce questo fenomeno a cinque cause:

1.° La *fosforescenza spontanea*, in certi vegetabili e in certi animali; questa, per es., è intensissima nel fulgore (porta-lanterna) e nel lampiro (lucciola), e lo splendore della luce che mandano varia sotto l'impero della loro volontà. Così pure nelle regioni tropicali, il mare è spesse volte coperto da viva luce fosforescente dovuta a zoofiti di estrema piccolezza. Questi animaletti diffondono una materia luminosa così sottile che avendone Quoy e Gaimard, in un viaggio sotto l'equatore, collocati due in un boccale pieno d'acqua, il liquido divenne immediatamente luminoso in tutta la sua massa.

2.° La *fosforescenza per innalzamento di temperatura*, si manifesta principalmente in certi diamanti e nelle varietà di spato-fluore, che, riscaldato a 300 o 400 gradi, diventa tutto a un tratto luminoso e spande una vivissima luce azzurrastra.

3.° La *fosforescenza per effetti meccanici*, come sono lo sfregamento, la percussione, il clivaggio, ecc.; quando, per es., soffregansi nell'oscurità due cristalli di quarzo l'uno contro l'altro, o che rompasi un pezzetto di zuccaro.

4.° La *fosforescenza per elettricità*, come quella che risulta dallo sfregamento del mercurio contro il vetro nell'interno del tubo barometrico e principalmente da scintille elettriche provenienti sia da una macchina elettrica ordinaria, sia da una batteria, o da un rocchetto di Ruhmkorff, apparecchio che verrà descritto trattandosi dell'induzione.

5.° Finalmente, la *fosforescenza per insolazione*, vale a dire per l'azione della luce solare, o della luce diffusa dell'atmosfera. Un gran numero di sostanze, dopo essere state così esposte all'azione della luce,

brillano nell'oscurità di un vivo splendore, la tinta e l'intensità del quale dipendono dalla natura e dallo stato fisico di queste sostanze. Egli è principalmente questo genere di fosforescenza che noi intendiamo far conoscere riassumendo i lavori di Ed. Becquerel.

550. **Fosforescenza per insolazione.** — Questo genere di fosforescenza venne dapprima osservato, nel 1604, nel *fosforo di Bologna* (solfuro di bario); ma Ed. Becquerel scoperse questa proprietà in un gran numero d'altre sostanze. Quelle che la presentano al più alto grado sono i solfuri di calcio, di bario e di stronzio. Dopo l'insolazione, queste sostanze quando sono ben preparate, possono risplendere nell'oscurità per parecchie ore. Ora, producendosi questa luce tanto nel vuoto che nei gas, non si può attribuirla ad un'azione chimica, ma piuttosto ad una modificazione temporaria che ha origine sotto l'influenza della luce.

Dopo i solfuri succitati vengono, secondo il grado di fosforescenza, un gran numero di diamanti (principalmente i gialli) e la più parte delle varietà di spato fluore; poi l'arragonite, i calcari compatti, la creta, la calce fosfata, arseniata, solfata; il nitrato di calce ed il cloruro di calcio disseccati; il cianuro di calcio; un gran numero di sali a base di stronziana o di barite; la magnesia e il suo carbonato, ecc.; finalmente, anche un gran numero di sostanze organiche acquistano la fosforescenza per insolazione: per. es., la carta secca, la seta, lo zuccaro di canna, lo zuccaro di latte, il succino, i denti, ecc.

Ed. Becquerel riconobbe che ogni sostanza è inegualmente impressionata dai differenti raggi dello spettro. Il *maximum* ha luogo nei raggi violetti ed anche un po' al di là, e in generale la tinta emessa dai corpi fosforescenti corrisponde ai raggi di una minore rifrangibilità di quelli della luce attiva.

La tinta che prendono i corpi fosforescenti è variabilissima e cangia, nello stesso composto, secondo il modo di preparazione. Nei composti di stronziana dominano le tinte verdi ed azzurre; nei solfuri di bario, le tinte aranciate, gialle e verdi.

La durata della fosforescenza varia anch'essa moltissimo da un corpo all'altro; essa dipende dalla sensibilità delle materie e dalla temperatura. In generale la durata della fosforescenza è tanto più breve quanto più elevata è la temperatura. Nei solfuri di calcio e di stronzio, alla temperatura ordinaria, la fosforescenza si prolunga fino a trenta ore; in altre sostanze, essa non è che di qualche minuto, di qualche secondo ed anche di una frazione di secondo.

551. **Fosforoscopio.** — Quando si esperimenta sopra corpi la fosforescenza dei quali prolungasi di alcuni minuti ed anche di alcuni secondi, basta esporli per qualche istante alla luce solare o alla luce diffusa, poi rimetterli nell'oscurità; la luce che mandano è allora visibilissima, soprattutto se si ha avuto cura di tenere, per qualche istante, gli occhi chiusi. Ma pei corpi la fosforescenza dei quali non dura che per un intervallo di tempo brevissimo, questo processo è insufficiente. In questo caso, Ed. Becquerel ha immaginato un ingegnoso apparecchio al quale diede il nome di *fosforoscopio* e che permette di osservare il corpo subito dopo l'azione della luce, potendo l'intervallo che separa l'insolazione dall'osservazione essere reso breve quanto si vuole, e misurato con grande precisione.

Questo apparecchio, costrutto da Duboscq, componesi di una cassa cilindrica AB (fig. 418), di lamiera di ferro annerita, e chiusa da ogni

parte, meno i due fondi della cassa ove sono praticate due aperture opposte aventi la forma di un settore circolare. Una sola di queste aperture *o* è visibile nella figura. La cassa è fissa, ma al suo centro è attraversata da un asse mobile al quale sono fissati due diaframmi circolari MM e PP di lamiera nera (fig. 419). Ognuno di questi diaframmi

Fig. 419.

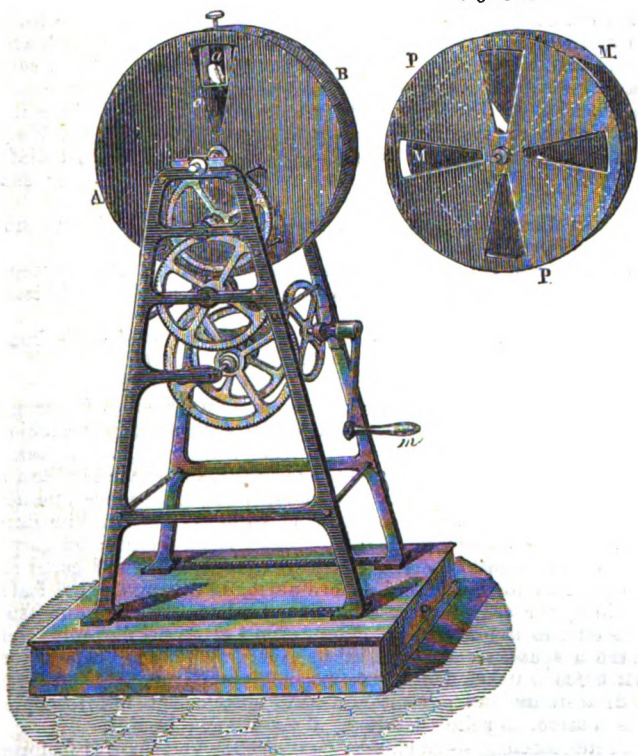



Fig. 418

è forato da quattro aperture della stessa forma di quelle praticate sui due fondi della cassa; ma mentre che queste ultime aperture si corrispondono, quelle dei diaframmi alternano, di modo che le parti chiuse dell'uno corrispondono sempre alle parti aperte dell'altro. Finalmente, i due diaframmi sono rinchiusi nella cassa, e sul loro asse vi è un piccolo rocchetto esteriore a questa, che riceve il movimento di una manovella *m* mediante una serie di grandi ruote che agiscono su alcuni rocchetti, in modo da moltiplicare la velocità.

Per istudiare, mediante il fosforoscopio, la fosforescenza di una sostanza qualunque, se ne colloca un frammento *a* sopra un sostegno

collocato fra i due diaframmi giranti. Ciò posto, risulta dalla disposizione di questi diaframmi, che la luce non può mai passare nello stesso tempo per le aperture opposte delle pareti A e B della cassa, perchè vi è sempre fra loro uno dei chiusi del diaframma MM o del diaframma PP. Per conseguenza, quando la luce che viene dall'altro lato dell'apparecchio cade sul corpo *a*, questo non sarà visibile per l'osservatore che guarderà l'apertura *o*, perchè allora esso sarà coperto da uno dei chiusi del diaframma PP. Reciprocamente, ogni volta che lo stesso osservatore vedrà il corpo *a*, questo non sarà più rischiarato, essendo la luce intercettata dai chiusi del diaframma MM. Vi sarà dunque alternativamente apparizione ed eclisse del corpo *a*: eclisse durante il tempo che esso è rischiarato, e apparizione durante il tempo che esso cessa di esserlo. Quanto al tempo che passa fra l'eclisse e l'apparizione, esso dipende dalla velocità di rotazione dei diaframmi. Supponiamo, per es., che essi facciano 150 giri per secondo; una rivoluzione dei diaframmi operandosi in $\frac{1}{150}$ di secondo, si avranno nello stesso tempo quattro apparizioni e quattro eclissi. Per conseguenza, l'intervallo che separerà l'istante in cui la luce agisce dall'istante in cui si osserva il corpo sarà $\frac{1}{8}$ di $\frac{1}{150}$ di secondo, o circa 0,0008 di secondo.

Conosciuti questi particolari, per esperimentare col fosforoscopio, rinchiudesi in una camera nera, e collocatisi dietro all'apparecchio, dalla parte degli ingranaggi, si fa arrivare dall'altro lato, sulla sostanza *a*, un fascetto di luce solare o di luce elettrica. Imprimendo allora ai diaframmi una rotazione più o meno rapida, il corpo *a* appare luminoso per trasparenza in modo continuo, tosto che l'intervallo fra l'insolazione e l'osservazione è minore della durata della fosforescenza del corpo. Per tal modo esperimentando, Ed. Becquerel trovò che molti corpi che non divengono luminosi col processo ordinario, lo divengono nel fosforoscopio; tale è, per es., lo spato d'Islanda. Le sostanze che in questo apparecchio offrono il più vivo splendore sono i composti d'uranio, che incominciano a spandere una luce verde vivissima quando l'osservatore può vederli 0,003 o 0,004 di secondo dopo l'insolazione. Ma un gran numero di sostanze non presentano alcun effetto nel fosforoscopio; tali sono il quarzo, lo zolfo, il fosforo, i metalli e i liquidi.

552. **Fluorescenza.** — Si chiama *fluorescenza* una sorta di fosforescenza istantanea, ma che si spegne rapidamente. Essa si osserva colle soluzioni di solfato di chinina, di esculina, di clorofilla, coi vetri di uranio e con certi campioni di spato fluore. Quando queste sostanze sono esposte nei raggi estremi del violetto dello spettro, anche nei raggi invisibili, esse prendono istantaneamente una tinta turchina assai viva; ciò che indica che i raggi invisibili, situati al di là dello spettro, sono trasformati in raggi meno rifrangibili. I fenomeni di fluorescenza furono specialmente studiati da Stokes.

CAPITOLO VIII.

DOPPIA RIFRAZIONE, INTERFERENZA, POLARIZZAZIONE

553. **Doppia rifrazione.** — Abbiamo già veduto (463) che la *doppia rifrazione* è la proprietà che posseggono molti cristalli di dare origine, per un solo raggio incidente, a due raggi rifratti; onde risulta che guardando un oggetto attraverso a questi cristalli lo si vede doppio. La doppia rifrazione venne dapprima osservata da Bartholin nel 1647; ma fu Huyghens il primo che nel 1673 ne diede una teoria completa.

I cristalli che posseggono la doppia rifrazione si dicono *birefrangenti*. Questa proprietà si osserva a gradi vari solo nei cristalli che non appartengono al sistema cubico. I corpi cristallizzati in questo sistema e quelli non cristallizzati, come il vetro, non sono dotati della doppia rifrazione, ma possono acquistarla accidentalmente, quando siano inegualmente compressi o per mezzo della *tempera*, cioè del rapido raffreddamento dopo di essere stati riscaldati. I liquidi ed i gas non sono mai birefrangenti.

Il fenomeno della doppia rifrazione è sensibile specialmente nello spato d'Islanda o calce carbonata dei mineralogisti. Nel quarzo o cristallo di rocca la doppia rifrazione è debolissima, e per renderla sensibile fa bisogno di un cristallo assai grosso e di convenienti apparati.

Fresnel spiegò la doppia rifrazione supponendo una disuguale densità dell'etere nei cristalli birefrangenti; d'onde risulta una velocità di moto vibratorio più rapida in una certa direzione determinata dallo stato molecolare del cristallo. Questa ipotesi è confermata dalla proprietà che acquista il vetro di divenire birefrangente per la tempera e per la compressione (581).

554. **Cristalli ad un asse.** — In un cristallo dotato della doppia rifrazione vi sono sempre una o due direzioni, secondo le quali non si osserva che la rifrazione semplice, ossia si scorge una sola immagine degli oggetti. Queste direzioni si chiamano *assi ottici* od *assi di doppia rifrazione*. Però quest'ultima denominazione è impropria, perchè precisamente nella direzione di questi assi non avviene la doppia rifrazione.

Si chiamano *cristalli ad un asse* quelli che presentano una sola direzione nella quale la luce non si bipartisce, e *cristalli a due assi* quelli che ne presentano due.

I cristalli ad un asse impiegati più spesso negli strumenti di ottica, sono lo spato d'Islanda, il quarzo e la tormalina. Lo spato d'Islanda ha la forma di un romboedro, le cui facce sono inclinate di 105° 5′ (fig. 420). Le facce, in numero di sei, sono rombi che si uniscono a tre a tre coi loro angoli ottusi agli estremi di una retta *ab*, che è l'*asse di cristallizzazione*.

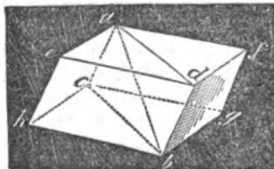



Fig. 420.

Brewster ha constatata questa legge generale, nei cristalli ad un asse, che l'*asse di doppia rifrazione coincide sempre coll'asse di cristallizzazione.*

Chiamasi *sezione principale* di un cristallo ad un asse, il piano che passa per l'asse ottico ed è perpendicolare ad una faccia naturale od artificiale del cristallo.

555. **Raggio ordinario e raggio straordinario.** — Dei due raggi rifratti a cui danno origine i cristalli ad un asse, uno segue sempre le leggi della rifrazione semplice (464), ma l'altro non è sottomesso a questa legge, vale a dire che il rapporto fra il seno dell'angolo d'incidenza ed il seno dell'angolo di rifrazione non è costante, e che il piano di rifrazione non coincide col piano d'incidenza. Il primo di questi raggi chiamasi il *raggio ordinario*, ed il secondo il *raggio straordinario*. Le immagini loro corrispondenti si indicano pure coi nomi di *immagine ordinaria* ed *immagine straordinaria*.

Il raggio ordinario e il raggio straordinario hanno gli indici diversi: in certi cristalli l'indice più grande è quello del raggio ordinario; in altri è quello del raggio straordinario. Fresnel ha chiamato i primi *cristalli negativi* e gli ultimi *cristalli positivi*. Lo spato d'Islanda, la tormalina, lo zaffiro, il rubino, lo smeraldo, la mica, il prussiato di potassa, il fosfato di calce sono negativi. Il quarzo, il zirconio, l'apofillite ad un solo asse, sono positivi. La classe dei cristalli negativi è molto più numerosa di quella dei positivi.

La figura 421 mostra l'andamento dei raggi in questo fenomeno; il parallelogrammo *abcd* rappresenta una sezione principale di un romboedro di spato d'Islanda. Collocato questo cristallo sopra un cartone bianco, si guarda attraverso al medesimo un punto nero *o* segnato sul cartone. Il raggio incidente partito dal punto *o* si divide in due raggi *oi* ed *oe*, che rifrangendosi inegualmente all'emergenza, presentano all'occhio due immagini *o'* ed *o''*.

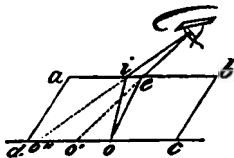



Fig. 421.

Se si fa rotare il romboedro, tenendolo sempre applicato sul cartone, l'immagine ordinaria resta fissa, mentre l'immagine straordinaria le gira intorno; ciò indica che il piano del raggio rifratto si sposta relativamente al piano di incidenza e, per conseguenza, che il raggio straordinario non segue la legge della rifrazione semplice.

556. **Legge della doppia rifrazione nei cristalli ad un asse.** — Il fenomeno della doppia rifrazione nei cristalli ad un asse, è sottoposto alle seguenti leggi:

1.ª *Il raggio ordinario, qualunque sia il suo piano d'incidenza, segue sempre le due leggi della rifrazione semplice* (464).

2.ª *In ogni sezione perpendicolare all'asse anche il raggio straordinario segue queste due leggi al pari del raggio ordinario, ma il suo indice di rifrazione non è uguale a quello di quest'ultimo raggio; d'onde la distinzione di* indice ordinario *ed* indice straordinario.

3.ª *In ogni sezione principale, il raggio straordinario segue soltanto la seconda legge della rifrazione; cioè i piani d'incidenza e di rifrazione coincidono, ma il rapporto dei seni degli angoli di incidenza e di rifrazione non è costante.*

4.ª *La velocità con cui si propagano il raggio ordinario ed il raggio straordinario in un cristallo non sono eguali, epperò la differenza dei quadrati di queste due velocità è proporzionale al quadrato del seno dell'angolo che il raggio straordinario fa all'asse.*

Quest'ultima legge è la traduzione di una formola empirica data da Biot per collegare fra loro le velocità di due raggi. Essa deriva anche dalle formole a cui fu condotto Fresnel da considerazioni puramente teoriche, le quali presentano la rimarchevole proprietà che da esse si può dedurre la formola di Biot.

Huyghens, che pel primo diede una teoria completa della doppia rifrazione fondata sul sistema delle ondulazioni, fece conoscere una costruzione geometrica assai importante, per mezzo della quale si può costruire il raggio rifratto in tutte le sue posizioni rispetto all'asse, quando si conosca il raggio incidente; ma la teoria di Huyghens fu respinta dai fisici, finchè Malus non ne constatò l'esattezza per mezzo di numerose esperienze.

557. **Leggi della doppia rifrazione nei cristalli a due assi.** — I cristalli a due assi sono assai numerosi: appartengono a questo genere i solfati di nichelio, di magnesia, di barite, di potassa, di ferro, lo zuccaro, la mica, il topazzo del Brasile. In questi diversi cristalli, l'angolo dei due assi assume valori assai differenti, perchè varia da 3 sino a 90°.

Fresnel ha scoperto colla teoria ed ha dimostrato coll'esperienza che nei cristalli a due assi, nessuno dei raggi rifratti segue le leggi della rifrazione semplice; ma, chiamando *linea media* e *linea supplementare* le linee che dividono l'angolo dei due assi ed il suo supplemento in due parti eguali, ha trovato che in ogni sezione perpendicolare alla linea media, uno dei raggi rifratti segue le leggi ordinarie della rifrazione, e che, in ogni sezione perpendicolare alla linea supplementare, segue queste leggi l'altro dei due raggi.

Quanto prima si vedranno, negli apparecchi di polarizzazione, numerose applicazioni della doppia rifrazione dello spato d' Islanda. Questa proprietà venne utilizzata anche nel canocchiale micrometrico di Rochon, apparato che serve a misurare il diametro dei corpi, e per mezzo del quale si può determinare la distanza di un oggetto quando se ne conosca la sua grandezza.

DIFFRAZIONE, INTERFERENZA ED ANELLI COLORATI

558. **Diffrazione e frange.** — La *diffrazione* è una modificazione che subisce la luce quando rade i contorni di un corpo o quando attraversa una piccola apertura, modificazione per la quale i raggi luminosi sembrano piegarsi e penetrare nell'ombra. Per osservare il fenomeno della

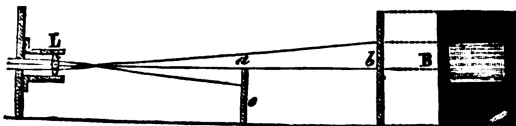



Fig. 422.

diffrazione si fa entrare un fascio di luce solare per un'apertura piccolissima praticata nell'imposta di una camera oscura e lo si riceve sopra una lente convergente L a corto foco (fig. 422). Un vetro colorato in rosso è fissato all'apertura della camera oscura e lascia passare soltanto la luce rossa. Un diaframma opaco *e* a margini sottili, collocato

dietro alla lente, al di là del suo foco, intercetta una metà del corpo luminoso, mentre l'altra metà va a proiettarsi sopra un diaframma *b*, rappresentato di fronte in B. Ora si osserva al di dentro dell'ombra geometrica limitata dalla retta *ab*, una luce rossastra piuttosto viva, che diminuisce di intensità a misura che i punti del diaframma sono più lontani dal limite dell'ombra; e sulla parte del diaframma che dovrebbe essere uniformemente illuminata, si osservano delle alternative di frange oscure e di frange luminose che si indeboliscono gradatamente e finiscono collo sparire interamente.

Tutti i diversi colori dello spettro producono lo stesso fenomeno, colla differenza però che le frange sono tanto più strette e meno distanti l'una dall'altra, quanto meno rifrangibile è la luce. Da quest'ultima proprietà risulta che quando si esperimenta colla luce bianca, le frange di ciascun colore semplice trovandosi separate a motivo della loro disuguale diffrazione, quelle che si formano sul diaframma B sono iridescenti.

Se invece di interporre tra la lente L ed il diaframma *b* i lembi di un corpo opaco, vi si colloca un corpo opaco assai stretto, come un capello od un filo metallico sottilissimo, non solo si osservano ancora alcune frange alternativamente oscure e luminose ai due lati dalla parte del diaframma che corrisponde all'ombra geometrica del corpo, ma in quest'ombra istessa si vede l'alternativa di liste oscure e di liste luminose; cioè allora si producono alcune frange esterne e frange interne.

Il padre Grimaldi di Bologna fu il primo, nel 1663, che fece conoscere il fenomeno della diffrazione e delle frange, senza darne però la spiegazione. Newton procurò di spiegare il fenomeno della diffrazione nel sistema dell'emissione, ammettendo un'azione ripulsiva esercitata dai corpi sui raggi luminosi, ciò che non ispiegava però le frange interne. Tomaso Young spiegò il fenomeno della diffrazione, nel sistema delle ondulazioni, attribuendolo all'interferenza (559) dei raggi diretti coi raggi riflessi dai lembi dei corpi opachi. Ma da questa teoria risulterebbe che la formazione delle frange dovrebbe dipendere dalla natura dei corpi opachi di cui la luce rade i lembi, il che è contrario all'osservazione. Fresnel spiegò pel primo tutti i fenomeni della diffrazione, fondandosi sempre sulla teoria delle onde luminose (560).

559. **Interferenza.** — Chiamasi *interferenza* un'azione vicendevole che esercitano l'uno sull'altro due raggi luminosi, allorquando, emessi da una stessa sorgente, si incontrano sotto un angolo piccolissimo. Questa azione può osservarsi assai facilmente per mezzo della seguente esperienza: Per due aperture circolari piccolissime, di diametro eguali e poco distanti l'una dall'altra, si fanno penetrare in una camera oscura due fasci di luce omogenea, per es. di luce rossa; il che si ottiene fissando alle due aperture della camera oscura alcuni vetri colorati in rosso, i quali non lasciano passare che questa luce. I due fasci, dopo il loro ingresso nella camera oscura, formando due coni luminosi che si incontrano ad una certa distanza, si ricevono un poco al di là del loro punto di incontro, sopra un cartone bianco, ed allora si osserva nel segmento comune ai due dischi che si formano su questo cartone, delle frange assai oscure formate da alternative di rosso e di nero. Ma se si chiude una delle aperture, le frange spariscono e vengono sostituite da una tinta rossa quasi uniforme. Dallo sparire delle frange oscure quando si intercetta uno dei fasci si conchiude che esse provengono dall'incontro dei due fasci i quali si incrociano obbliquamente.

Questa esperienza è dovuta a Grimaldi, il quale ne aveva dedotta la conseguenza che la luce aggiunta a luce produce oscurità. Nell'esperienza ora descritta evvi diffrazione, perchè i raggi luminosi radono i lembi dell'apertura; ma, senza far intervenire questo fenomeno, si può produrre l'interferenza di due raggi per mezzo del seguente apparato dovuto a Fresnel.

Due specchi metallici piani M ed N (fig. 423) sono disposti a fianco l'uno dell'altro in modo che formino un angolo MON assai ottuso. Una

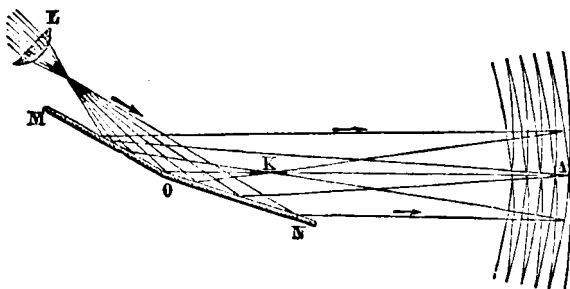



Fig. 423.

lente semicircolare L, a corto foco, concentra davanti a questi due specchi un fascio di luce rossa introdotto nella camera oscura, il quale cade in parte sopra uno degli specchi ed in parte sull'altro. Le onde luminose dopo d'essersi riflesse, come mostra la figura, vengono ad incontrarsi sotto un piccolissimo angolo, più vicino allo specchio N che allo specchio M; e se allora si ricevono sopra un diaframma bianco, si osservano sopra quest'ultimo alcune liste alternativamente oscure e brillanti, parallele alla linea d'intersezione dei due specchi e disposte simmetricamente ai due lati del piano OKA che passa per la linea d'intersezione degli specchi e divide in due parti uguali l'angolo che formano fra loro i raggi riflessi.

Se si intercetta la luce che cade sopra uno degli specchi, le frange spariscono, come nell'esperimento precedente.

Finalmente, se si fa passare il fascio già riflesso da uno degli specchi, attraverso ad una lastra di vetro a facce parallele, tutte le frange sono spostate a destra od a sinistra di una quantità che aumenta colla grossezza della lastra. Quest'ultima esperienza dimostra che l'azione vicendevole dei raggi che si incontrano è modificata dalla sostanza che essi attraversano, e se ne deduce che la luce si propaga meno velocemente nel vetro che nell'aria.

560. **Principio delle interferenze.** — Il fenomeno delle interferenze, come quello della diffrazione, non può essere spiegato nel sistema dell'emissione; Fresnel però ne diede una spiegazione completa nel sistema delle ondulazioni. In questo sistema essendo le molecole dell'etere animate da un movimento ondulatorio rapidissimo (429), chiamasi *lunghezza d'ondulazione* lo spazio percorso da ciascuna molecola d'etere durante un'andata ed un ritorno, e *semi-ondulazione* lo spazio che corrisponde ad una sola andata o ad un solo ritorno, di modo che una ondulazione

completa si compone di due semi-ondulazioni in senso contrario. Ciò posto, allorquando due sistemi di ondulazioni di eguali lunghezze e della stessa intensità si propagano secondo una stessa direzione, se l'uno dei sistemi precede o segue l'altro precisamente di un numero pari di semi-ondulazioni, i due sistemi si uniscono per imprimere all'etere un movimento in un medesimo verso, e l'intensità della luce raddoppia; ma se invece uno dei sistemi è in ritardo rispetto all'altro di un numero dispari di semi-ondulazioni, i movimenti impressi all'etere si distruggono e ne risulta alquanta oscurità.

Tale è la spiegazione delle frange oscure e luminose osservate nelle esperienze di Fresnel e di Grimaldi. Le frange osservate nella diffrazione si riferiscono alla stessa causa.

Siccome le due esperienze suddescritte (559) si erano fatte colla luce rossa, le frange erano alternativamente nere e rosse; ma ripetendole con luce bianca, le frange sono iridescenti. Per ispiegare questa colorazione, bisogna notare che la larghezza delle frange varia con ciascuno dei colori semplici: ne risulta che quando si fanno interferire due fasci di luce bianca, le frange dovute a ciascun colore si separano, il che produce l'iridescenza che si osserva in tal caso. Si vede che questa spiegazione è uguale a quella già data pei colori nella diffrazione.

561. **Lunghezza delle ondulazioni, causa dei colori.** — Misurando con precisione l'intervallo fra due frange consecutive, nel fenomeno delle interferenze, Fresnel ne dedusse per mezzo del calcolo la lunghezza delle ondulazioni dell'etere, e riconobbe che questa lunghezza non è la stessa per tutti i raggi colorati, ma va aumentando dal violetto al rosso, come mostra la tavola seguente:

Colori semplici.	Lunghezza media delle ondulazioni in milionesimi di millimetro.
Violetto	423
Indaco	449
Turchino	475
Verde	512
Giallo	551
Ranciato	583
Rosso	620

Sicome la velocità della luce per minuto secondo è di 77 000 leghe di 4000 metri (435), cioè di 308 milioni di metri, si avrà il numero delle ondulazioni corrispondenti a ciascun colore, per secondo, cercando quante volte la lunghezza d'ondulazione corrispondente è contenuta nel numero 308 milioni, cioè dividendo quest'ultimo numero pei numeri della tavola superiore; il che dà pel raggio violetto più di 728 milioni di milioni di ondulazioni per secondo, e pel raggio rosso più di 496 milioni di milioni. A ciascun colore semplice, corrispondendo così un numero di ondulazioni che gli è proprio, si vede che la teoria delle ondulazioni conduce ad ammettere che la natura de' colori è determinata dal numero di vibrazioni che fanno le molecole dell'etere in un tempo dato, nello stesso modo che i diversi suoni sono prodotti dal numero delle onde sonore.

562. **Colori delle lamine sottili, anelli di Newton.** — Tutti i corpi diafani, solidi, liquidi o gasosi, quando sono ridotti in lamine abbastanza sottili sembrano tinti di colori assai vivi, principalmente quando sono veduti per riflessione. I cristalli clivabili in foglie assai sottili, quali la mica, il gesso, presentano questo fenomeno; lo stesso avviene della

madreperla e del vetro soffiato in bolle assai sottili. Una goccia d'olio espansa rapidamente sopra una grande massa d'acqua, presenta tutte le tinte dello spettro in un ordine costante. Una bolla di sapone dapprima sembra bianca, ma a misura che la si gonfia, presenta brillanti tinte iridescenti, principalmente alla parte superiore ove l'inviluppo liquido è più sottile. Questi colori si dispongono in zone orizzontali concentriche intorno al vertice, il quale diventa nero al momento in cui non ha più grossezza sufficiente per riflettere la luce, ed allora la bolla scoppia improvvisamente.

Newton che pel primo studiò il fenomeno degli anelli colorati nelle bolle di sapone, volendo constatare la relazione che esiste fra la grossezza della lamina sottile, il colore degli anelli ed i loro diametri, produsse questi anelli per mezzo di uno strato d'aria interposto fra due vetri, l'uno piano, l'altro convesso ed a foco assai lungo (fig. 424). Esponendo le due superficie accuratamente asciugate, davanti ad una

Fig. 424.

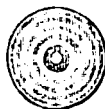



Fig. 425.

finestra alla luce del giorno, in modo di vederle per riflessione, si scorge al punto di contatto una macchia nera circondata da sei o sette anelli colorati, le cui tinte vanno indebolendosi gradatamente. Se si guardano i vetri per trasmissione, il centro degli anelli è bianco (fig. 425), ed i colori di ciascuno di essi sono esattamente complementari di quelli degli anelli veduti per riflessione.

Con una luce omogenea, per es. la rossa, gli anelli sono successivamente neri e rossi, e di diametri tanto minori quanto più rifrangibile ne è il colore; ma colla luce bianca, gli anelli sono colorati delle diverse tinte dello spettro, il che proviene dall'essere gli anelli dei vari colori semplici di diametri differenti, per cui non si sovrappongono, ma si separano più o meno.

Se la distanza focale della lente è di 3 o 4 metri, gli anelli ponno vedersi ad occhio nudo; ma se il foco è più vicino bisogna guardarli con una lente.

Calcolando la grossezza dello strato d'aria compreso fra la lastra e la lente, Newton trovò che, *per gli anelli oscuri, queste grossezze stanno fra loro come la serie dei numeri pari* 0, 2, 4, 6...; e che, *per gli anelli brillanti, queste stesse grossezze variano come la serie dei numeri dispari* 1, 3, 5, 7...; rapporti che sono indipendenti dalla natura della lente e dai colori dei raggi che gli attraversano. Newton trovò inoltre che la grossezza dello strato d'aria interposto diminuendo a misura che la rifrangibilità aumenta, questa grossezza è di 161 milionesimi di millimetro pel rosso estremo di primo ordine, cioè corrispondente al primo anello brillante, mentre che pel violetto estremo questa grossezza non è più che di 101 milionesimi di millimetro. Infine, per anelli dello stesso ordine, cioè dello stesso rango, i diametri sono tanto maggiori quanto meno rifrangibile è il colore semplice che cade sulla lente.

La colorazione delle lamine sottili e degli anelli di Newton è un fenomeno d'interferenza, che proviene dall'interferenza dei raggi riflessi sulla seconda superficie della lamina con quelli riflessi dalla prima. Gli anelli veduti per rifrazione risultano dall'interferenza dei raggi trasmessi direttamente coi raggi trasmessi soltanto dopo due riflessioni interne sulle facce della lamina (444).

563. **Fenomeno delle reticelle.** — Si chiama *reticella*, in ottica, una serie di righe opache e di righe trasparenti vicinissime le une alle altre. Tali sono le linee parallele che si segnano sul vetro col diamante per formare i micrometri (510). In questo caso le righe formano la parte opaca della reticella. Se si guarda la luce trasmessa da una candela attraverso ad una reticella di questa sorta contenente 100 linee ogni millimetro, si vede una serie di piccoli spettri i quali hanno il rosso al di fuori ed il violetto al di dentro. Lo stesso accade se si guarda la fiamma d'una candela attraverso alle barbe di una penna collocata vicino all'occhio. Anche questa colorazione è un fenomeno d'interferenza.

POLARIZZAZIONE

564. **Polarizzazione per riflessione.** — La *polarizzazione* è una modificazione particolare dei raggi luminosi, per la quale, una volta riflessi o rifratti, diventano inetti ad esser di nuovo riflessi o rifratti in certe direzioni. Per indicare questi nuovi fenomeni della luce fu adottato il nome di polarizzazione, perchè per ispiegarli, nella teoria dell'emissione, si ammette che le molecole luminose abbiano dei poli o degli assi, i quali, per effetto della riflessione sotto un certo angolo si volgano tutti in una direzione. La polarizzazione fu scoperta nel 1810 da Malus, fisico francese, morto nel 1812.

La luce si polarizza per riflessione o per rifrazione. La luce riflessa sopra una lastra di vetro nero si polarizza quando la riflessione avviene sotto un angolo di 35° 25′ colla lastra. Ecco alcune proprietà che possiede allora il raggio polarizzato:

1.° Questo raggio non subisce alcuna riflessione quando cade sopra una seconda lastra di vetro, sotto lo stesso angolo 35° 25′, se il piano d'incidenza su questa seconda lastra è perpendicolare al piano d'incidenza sulla prima, ed invece si riflette più o meno sopra piani diversamente inclinati, ossia sotto altre incidenze.

2.° Trasmesso attraverso ad un prisma birefrangente (568, 3.°), non dà che una immagine, quando la sezione principale è parallela o perpendicolare al piano d'incidenza, mentre in ogni altra posizione, rispetto a questo piano, dà due immagini più o meno intense.

3.° Esso non può trasmettersi attraverso ad una piastra di tormalina (568, 2.°), il cui asse di cristallizzazione sia parallelo al piano di incidenza, e si trasmette invece tanto più facilmente quanto più l'asse della tormalina si accosta ad essere perpendicolare a questo piano.

Tutti i corpi possono, come il vetro nero, polarizzare la luce per riflessione, ma più o meno completamente e sotto angoli di incidenza ineguali. Il marmo nero, per es., polarizza completamente la luce, mentre il diamante, il vetro ordinario, il vetro d'antimonio la polarizza soltanto parzialmente. I metalli sono, fra tutti i corpi, quelli dotati di minor facoltà polarizzante.

565. **Angolo e piano di polarizzazione.** — L'*angolo di polarizzazione* di una sostanza è l'angolo che deve fare il raggio incidente con una superficie piana e levigata di questa sostanza, acciocchè il raggio riflesso sia polarizzato al massimo suo grado possibile. Per l'acqua quest'angolo è di 37° 15'; pel vetro, di 35° 25', pel quarzo, di 32° 28'; pel diamante, di 22°; per l'ossidiana, specie di vetro nero naturale che polarizza assai bene la luce, è di 33° 30'.

Brewster fece conoscere, relativamente all'angolo di polarizzazione, la legge seguente, rimarchevole per la sua semplicità: *L'angolo di polarizzazione è l'angolo di incidenza pel quale il raggio riflesso è perpendicolare al raggio rifratto.* Però questa legge non è applicabile alla luce riflessa dai cristalli birefrangenti.

Nella polarizzazione per riflessione chiamasi *piano di polarizzazione* il piano di riflessione nel quale la luce si trova polarizzata; questo piano coincide col piano d'incidenza e contiene quindi l'angolo di polarizzazione. La luce riflessa una prima volta in questo piano non può riflettersi sotto l'angolo di polarizzazione in un piano perpendicolare, ed inoltre non può essere trasmessa attraverso ad una tormalina il cui asse sia parallelo al piano. Anche ogni raggio polarizzato per rifrazione ha un piano di polarizzazione, un piano cioè nel quale presenta i fenomeni ora enunciati.

566. **Polarizzazione per semplice rifrazione.** — Quando un raggio di luce non polarizzata cade sopra una lastra di vetro a facce parallele, sotto l'angolo di polarizzazione, non è riflessa che in parte; la parte non riflessa attraversa la lastra rifrangendosi, e la luce trasmessa è polarizzata parzialmente in un piano perpendicolare al piano di riflessione, e per conseguenza al piano di polarizzazione della luce che è stata polarizzata per riflessione. Arago ha osservato inoltre che il fascio riflesso ed il fascio rifratto contengono un'eguale quantità di luce polarizzata, e che la riunione di questi due fasci dà la luce naturale. Si può adunque riguardare la luce ordinaria come formata di due fasci eguali polarizzati ad angolo retto.

Siccome una sola lastra di vetro non polarizza mai completamente la luce, sovrapponendone parecchie le une alle altre, per le riflessioni e le rifrazioni successive, si produce meglio l'effetto. Alcune lastre di vetro così riunite formano l'apparato che si chiama *pila di lamine di vetro,* apparato che si usa frequentemente per ottenere un fascio di luce polarizzata.

567. **Polarizzazione per doppia rifrazione.** — La luce si polarizza per doppia rifrazione quando attraversa un cristallo di spato d'Islanda o di qualunque altra sostanza birefrangente; i due fasci, distinti alla loro emergenza, sono ambedue polarizzati interamente ma in piani differenti, i quali sono esattamente o quasi esattamente perpendicolari fra loro. Per dimostrarlo, si guarda attraverso ad un romboedro di spato d'Islanda, un punto nero segnato sopra un foglio di carta. Ad occhi nudi si distinguono due immagini di eguale chiarezza; ma se si interpone una tormalina e la si fa rotare nel suo stesso piano, ciascuna immagine sparisce e ricompare due volte in una rotazione della tormalina, per cui si vede che i due raggi emergenti sono polarizzati in piani perpendicolari tra loro (568, 2.°) L'immagine ordinaria sparisce al momento in cui l'asse della tormalina è parallelo alla sezione principale della superficie d'incidenza, e l'immagine straordinaria scompare quando

questo asse è perpendicolare a questa sezione; se ne conchiude che il fascio ordinario è polarizzato nel piano della sezione principale, ed il fascio straordinario in un piano perpendicolare a questa sezione.

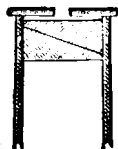
568. **Polariscopii od analizzatori.** — Chiamansi *polariscopii* od *analizzatori* que' piccoli strumenti che servono a riconoscere quando la luce è polarizzata ed a determinare il suo piano di polarizzazione Gli analizzatori più usitati sono la lastra di vetro nero, la tormalina in lastra sottile, il prisma birefrangente, il prisma di Nicol e le pile di vetro descritte più sopra (566).

1.° *Vetro nero.* — Vedremo più avanti, nell' apparato rappresentato dalla figura 429, che una lastra di vetro nero *m* serve a riconoscere se la luce è polarizzata, cessando di rifletterla sotto l'angolo di polarizzazione, quando il piano d'incidenza su questa lastra è perpendicolare al piano di polarizzazione; la lastra di vetro *m* è adunque un analizzatore.

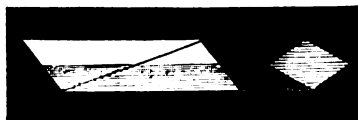
2.° *Tormalina.* — L'analizzatore più semplice è una lamina di tormalina bruna tagliata parallelamente al suo asse di cristallizzazione. Questo minerale, che è birefrangente, ha la proprietà di lasciar passare soltanto la luce naturale e la luce polarizzata in un piano perpendicolare al suo asse; ma si comporta come un corpo opaco riguardo alla luce polarizzata, il cui piano di polarizzazione è parallelo a quest'asse. Per servirsi di questo analizzatore lo si interpone tra l'occhio ed il fascio luminoso che si vuol osservare, poi si fa rotare lentamente la tormalina nel suo proprio piano; allora se il fascio luminoso presenta sempre la stessa intensità non contiene luce polarizzata; ma se l'intensità diminuisce e cresce successivamente, il fascio contiene tanto più di luce polarizzata quanto maggiori sono le variazioni d'intensità che presenta. Al momento in cui il fascio ha l'intensità minima, il piano di polarizzazione è determinato dall'asse della tormalina e dal raggio visuale. In una tormalina tagliata parallelamente all'asse, passa il raggio straordinario; il raggio ordinario è completamente assorbito, almeno se la tormalina è sufficientemente colorata.

3.° *Prisma birefrangente.* — Si costruiscono collo spato d'Islanda prismi birefrangenti che vengono impiegati come analizzatori in parecchi istrumenti di ottica, principalmente nell'apparato di Biot che si adopera per istudiare la polarizzazione circolare (fig. 432). È necessario che questi prismi siano acromatizzati, perchè quando la luce che li attraversa non è semplice, viene decomposta dalla rifrazione. Perciò si unisce al prisma di spato un secondo prisma di vetro, di un angolo tale che rifrangendo la luce in senso contrario, distrugga quasi interamente l'effetto della dispersione. Si ottiene il massimo allontanamento tra l'immagine ordinaria e l'immagine straordinaria tagliando il prisma birefrangente in modo che i suoi spigoli siano paralleli o perpendicolari all'asse ottico del cristallo.

Fig. 426.

Fissato il prisma birefrangente alle estremità di un tubo di ottone (fig. 426), si riconosce che un fascio luminoso il quale si faccia passare attraverso a questo tubo è totalmente polarizzato, quando facendo girare il tubo sopra sè stesso, si trovano, in una rivoluzione intera, quattro posizioni perpendicolari fra loro, ove non si scorge che una sola immagine. L'immagine ordinaria sparisce quando il piano della

sezione principale è perpendicolare al piano di polarizzazione, e l'immagine straordinaria si estingue quando il piano di polarizzazione coincide colla sezione principale. In tutte le altre posizioni che prende il prisma birefrangente varia l'intensità delle immagini. Si vede in pari tempo che il prisma birefrangente può servire a determinare la direzione del piano di polarizzazione, perchè basta cercare la posizione della sezione principale del prisma per la quale, quando il fascio incidente è normale, l'immagine straordinaria sparisce.

4.°. *Prisma di Nicol.* — Il prisma di Nicol è il più prezioso analizzatore perchè è affatto incoloro, polarizza completamente la luce e trasmette un solo raggio polarizzato nella direzione del suo asse.

Per costruirlo si prende un romboedro di spato d'Islanda di 20 a 30 millimetri di altezza circa e della lunghezza di 8 a 9, e lo si taglia in

Fig, 427.

due con uno piano perpendicolare a quello delle due diagonali maggiori delle basi e passante pei vertici degli angoli ottusi più vicini l'uno all'altro, poi si riuniscono le due metà nello stesso ordine con balsamo del Canadà. Il parallelepipedo così costrutto costituisce il prisma di Nicol (fig. 427).

Siccome l'indice di rifrazione del balsamo del Canadà è minore dell'indice ordinario dello spato d'Islanda, ma maggiore del suo indice straordinario, ne segue che se un raggio luminoso SC (fig. 428) penetra nel

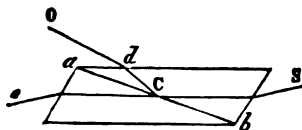



Fig. 428.

prisma, il raggio ordinario subisce sulla superficie *ab* la riflessione totale e prende la direzione C*d*O, mentre passa soltanto il raggio straordinario C*e*; quindi il prisma di Nicol, come la tormalina, lascia passare il solo raggio straordinario. Può dunque servire di *analizzatore* come la tormalina. Si usa anche, sotto il nome di *polarizzatore*, per ottenere un fascio di luce bianca polarizzata. Anche il prisma birefrangente serve a questo scopo.

569. **Apparato di Noremberg.** — Noremberg immaginò un apparecchio semplice e poco dispendioso, per mezzo del quale si può ripetere la maggior parte delle esperienze relative alla luce polarizzata Quest'apparecchio si compone di due colonne di ottone *b* e *d* (fig. 429), le quali sostengono una lastra di vetro *n*, mobile attorno ad un asse orizzontale. Un piccolo cerchio graduato *c* indica l'angolo che fa la lastra colla

verticale. Tra i piedi delle due colonne avvi uno specchio di vetro *p* fisso ed orizzontale. Alla loro estremità superiore queste stesse colonne sostengono un anello graduato *i* nel quale può girare un disco circolare *o*. Quest'ultimo, al cui centro è praticata un'apertura quadrango-

Fig. 430.

Fig. 429.

lare, porta una lastra di vetro nero *m*, la quale fa colla verticale un angolo uguale all'angolo di polarizzazione. Finalmente un disco annulare *k* può essere fissato, per mezzo di una vite di pressione, a differenti altezze sulle colonne. Un secondo anello *a*, sostenuto dal primo, può essere diversamente inclinato e porta un diaframma nero *e*, al cui centro è praticata un'apertura circolare.

Ciò posto, quando il vetro *n* fa colla verticale un angolo di 35° 25′, cioè eguale all'angolo di polarizzazione del vetro, i raggi luminosi che, come *Sn*, incontrano la lastra sotto questo angolo, si polarizzano (564) riflettendosi nella direzione *np* verso lo specchio *p* che li rimanda nella direzione *pnr*. Dopo avere attraversata la lastra *n*, il fascio polarizzato cade sulla lastra di vetro nero *m* sotto un angolo di 35° 25′, perchè la lastra fa precisamente quest'angolo colla verticale. Ora, se si fa muovere orizzontalmente l'anello *o* al quale è fissata la lastra *m*, questa si sposta conservando sempre la stessa inclinazione e si trovano

due posizioni nelle quali essa non riflette il fascio incidente *nr*: ciò accade quando il piano d'incidenza, su questa lastra, è perpendicolare al piano d'incidenza S*np* sulla lastra *n*. Tale è la posizione rappresentata nella figura 360. In ogni altra posizione il fascio polarizzato è riflesso dalla lastra *m* in quantità variabile, e la luce riflessa ha la massima intensità quando i piani d'incidenza, sulle lastre *m* ed *n*, sono paralleli fra loro. Se la lastra *m* fa colla verticale un angolo maggiore o minore di 35° 25', il fascio polarizzato è sempre riflesso in tutte le posizioni del piano d'incidenza.

Se invece di ricevere la luce polarizzata sulla lastra di vetro nero *m*, la si riceve sopra un prisma birefrangente (568, 3.°) collocato nel tubo *g* (fig. 430), si ottiene una sola immagine ogniqualvolta il piano della sezione principale del prisma coincide col piano di polarizzazione sulla lastra *n*, ed allora viene trasmesso il raggio ordinario. Si vede una sola immagine anche quando il piano della sezione principale è perpendicolare al piano di polarizzazione, ed allora passa il raggio straordinario. Per ogni altra posizione del prisma birefrangente si vedono due immagini, la cui intensità varia colla posizione della sezione principale.

Finalmente, se al prisma birefrangente si sostituisce una tormalina e la si fa girare sopra sè stessa, il fascio polarizzato si estingue completamente quando l'asse della tormalina è parallelo al piano d'incidenza S*np*.

Per tal modo adunque si trovano dimostrate le diverse proprietà suesposte della luce polarizzata (564, 1.°, 2.° e 3.°). Ora vedremo altre applicazioni dell'apparato di Noremberg all'osservazione dei colori della luce polarizzata ed allo studio della polarizzazione circolare nel quarzo.

POLARIZZAZIONE ROTATORIA

570. **Rotazione del piano di polarizzazione.** — Allorchè un raggio polarizzato attraversa una lamina di quarzo tagliata perpendicolarmente all'asse di cristallizzazione, questo raggio è ancora polarizzato all'emergenza, ma non nel piano di polarizzazione primitivo. Alcuni pezzi di quarzo deviano il nuovo piano a sinistra del primitivo, altri a destra. A questo fenomeno fu dato il nome di *polarizzazione circolare*. Esso venne osservato dapprima da Seebeck ed Arago; ma fu studiato principalmente da Biot, il quale fece conoscere le leggi seguenti:

1.ª *La rotazione del piano di polarizzazione non è la stessa pei diversi colori semplici, ed è tanto maggiore quanto più questi colori sono rifrangibili.*

2.ª *Per un medesimo colore semplice e per lamine di uno stesso cristallo, la rotazione è proporzionale alla grossezza.*

3.ª *Nella rotazione da destra a sinistra o da sinistra a destra, la stessa grossezza produce sensibilmente la stessa rotazione.*

Furono denominate *destrogire* le sostanze che deviano a destra: tali sono lo zuccaro di canna sciolto nell'acqua, l'essenza di limone, la soluzione alcoolica di canfora, la destrina e l'acido tartarico; e si chiamarono *levogire* le sostanze che deviano a sinistra, come l'essenza di trementina, quella di lauro, la gomma arabica.

571. **Colorazione prodotta dalla polarizzazione circolare.** — Se si guarda con un prisma birefrangente una lamina di quarzo della grossezza di alcuni millimetri, tagliata perpendicolarmente all'asse ed attraversata da un fascio di luce polarizzata, si scorgono due immagini vivamente colorate, le cui tinte sono complementarie l'una all'altra; giacchè sovrapponendosi coi loro lembi, le due immagini danno il bianco (fig. 431). Girando allora il prisma birefrangente a destra od a sinistra, le due immagini cangiano di tinta e prendono successivamente tutti i colori dello spettro, continuando sempre ad essere complementari.

Questo fenomeno è una conseguenza della prima legge sulla polarizzazione circolare (570, 1.°). Infatti, avendo Biot riconosciuto che il quarzo fa girare il piano di polarizzazione del raggio rosso di circa 17° 30′, e quello del raggio violetto di circa 44° 5′, dalla grande differenza di questi due angoli risulta che allorquando emerge la luce polarizzata che attraversò la lamina di quarzo suaccennato, i diversi colori semplici che essa contiene sono polarizzati in piani differenti. Per conseguenza, quando il fascio così trasmesso dal quarzo è ricevuto a traverso un prisma birefrangente che lo decompone in due altri polarizzati ad angoli retti (567), i diversi colori semplici si ripartiscono inegualmente fra le due immagini ordinaria e straordinaria fornite dal prisma; e ne risulta che queste immagini sono necessariamente complementarie, perchè i colori che mancano all'una si ritrovano nell'altra.

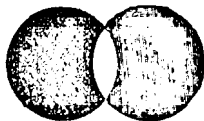



Fig. 431.

Questi fenomeni di colorazione si osservano assai bene per mezzo dell'apparecchio di Noremberg (fig. 429). Perciò si colloca sul diaframma *e* (fig. 430) una lamina di quarzo *s*, tagliata perpendicolarmente all'asse e fissata in un disco di sughero; poi, inclinata la lastra *n* (fig. 429) in modo di far passare nel quarzo un fascio polarizzato, si guarda attraverso ad un prisma rifrangente contenuto nel tubo *g* (fig. 430), e, facendo girare questo tubo, si vedono le immagini complementarie fornite dal passaggio della luce polarizzata nel quarzo (fig. 431).

572. **Facoltà rotatoria dei liquidi.** — Il quarzo è la sola sostanza solida nella quale siasi osservata la polarizzazione circolare; ma Biot ha trovato la stessa proprietà in un gran numero di liquidi e di soluzioni. Il medesimo scienziato ha osservato inoltre che lo spostamento del piano di polarizzazione può far conoscere le differenze di composizione nei corpi in cui non se ne distingue alcuna coll'analisi chimica. Per es., lo zuccaro d'uva fa girare a sinistra il piano di polarizzazione, mentre lo zuccaro di canna lo fa girare a destra, quantunque la composizione chimica di questi due zuccari sia la stessa.

Biot ha trovato che il potere rotatorio dei liquidi è molto minore di quello del quarzo. Nel siroppo concentrato di zuccaro di canna, il quale è un liquido che possiede la facoltà rotatoria al massimo grado, questa facoltà è trentasei volte minore che nel quarzo, d'onde risulta che bisogna operare sopra colonne liquide della lunghezza di 20 centimetri circa.

La figura 432 rappresenta l'apparato adottato da Biot per misurare il potere rotatorio dei liquidi. In un canale di ottone *g*, fisso ad un sostegno *r*, trovasi un tubo *d* della lunghezza di 20 centimetri circa, ove si rinchiude il liquido sul quale si vuol esperimentare. Questo tubo,

che è di ottone, è coperto internamente di stagno, e chiuso alle sue estremità da due lastre di vetro a facce parallele, fissate con due viere a vite. In *m* trovasi una lastra di vetro nero, la quale fa coll'asse comune dei tubi *b*, *d*, *a*, un angolo eguale all'angolo di polarizzazione; d'onde risulta che la luce riflessa dalla lastra *m* nella dire-

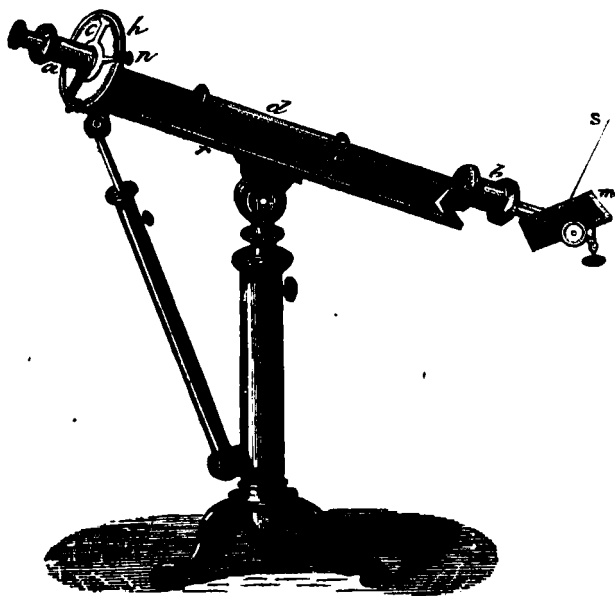



Fig. 432.

zione *bda*, è polarizzata. Al centro del circolo diviso *h*, nel tubo *a* e perpendicolarmente all'asse *bda*, è situato un prisma birefrangente acromatizzato, che si può far girare a volontà attorno all'asse dell'apparecchio per mezzo di un bottone *n*. Quest'ultimo è fisso ad una alidada *c*, che porta un verniero ed indica il numero dei gradi di cui lo si fa girare. Finalmente, per la disposizione dello specchio *n*, il piano di polarizzazione S*od* del fascio riflesso è verticale, e lo zero della graduazione sul cerchio *h* trovasi in questo piano.

Ciò posto, prima di collocare il tubo *d* nel canale *g*, l'immagine straordinaria fornita dal prisma birefrangente si estingue ogniqualvolta l'alidada *c* corrisponde allo zero della graduazione, perchè allora il prisma birefrangente si trova disposto in modo che la sua sezione principale coincide col piano di polarizzazione (568, 3.°). Lo stesso avviene quando il tubo *d* è pieno d'acqua o di un altro liquido *inattivo*, come l'alcool, l'etere, il che dimostra non essere stato deviato il piano di polarizzazione. Ma se si riempie il tubo di una soluzione di zuccaro di canna o di qualunque altro liquido *attivo*, l'immagine straordinaria ri-

compare, e per estinguerla bisogna girare l'alidada di un certo angolo a destra od a sinistra dello zero, secondochè il liquido è destrogiro o levogiro; ciò che dimostra che il piano di polarizzazione è stato deviato da questo stesso angolo. Colla soluzione di zuccaro di canna la rotazione avviene verso la destra, e se con una stessa soluzione si adoperano tubi più o meno lunghi, si trova che la rotazione cresce proporzionalmente alla lunghezza, il che è conforme alla seconda legge di Biot (570). Finalmente se con un tubo di lunghezza costante si adoperano soluzioni sempre più ricche di zuccaro, si osserva che la rotazione cresce come la quantità di zuccaro disciolta; epperò si vede che dall'angolo di deviazione si può dedurre l'analisi quantitativa d'una soluzione.

Nell'esperienza or ora descritta, bisogna operare colla luce semplice, poichè siccome i diversi colori dello spettro posseggono facoltà rotatorie differenti, ne risulta che la luce bianca attraversando un liquido attivo viene decomposta, e che l'immagine straordinaria non sparisce completamente in veruna posizione col prisma birefrangente; ma cambia solo di tinta. Onde ovviare a questo inconveniente, si colloca nel tubo *a*, tra l'occhio ed il prisma birefrangente, un vetro colorato in rosso coll'ossido di rame, il quale lascia passare sensibilmente la sola luce rossa. L'immagine straordinaria allora si estingue ogniqualvolta la sezione principale del prisma coincide col piano di polarizzazione del fascio rosso.

573. Saccarimetro di Soleil. — Soleil approfittò della facoltà rotatoria dei liquidi, scoperta da Biot, per costruire un apparecchio destinato ad analizzare le sostanze saccarifere; d'onde il nome di *saccarimetro* dato a questo apparato.

La figura 433 rappresenta il saccarimetro fissato orizzontalmente sul suo piede, e la figura 434 ne presenta una sezione longitudinale colle recentissime modificazioni introdottevi da Duboscq, genero e successore di Soleil. Questo strumento, semplice dal punto di vista pratico, è però complicato dal punto di vista teorico, perchè richiede la cognizione dei principali fenomeni della doppia rifrazione e della polarizzazione.

Il principio di questo apparecchio non è l'ampiezza di rotazione del piano di polarizzazione, come in quello di Biot descritto più sopra (572), ma la *compensazione*, cioè l'uso di una seconda sostanza attiva, la quale agisce in senso contrario di quella che si vuol analizzare, e la cui grossezza può variare fino a tanto che le azioni contrarie delle due sostanze si distruggano completamente; dimodochè invece di misurare la deviazione del piano di polarizzazione si misura la grossezza che deve avere la sostanza compensatrice, la quale è una lamina di quarzo, perchè la compensazione sia perfetta.

Ciò posto, si ponno distinguere in questo apparato tre parti principali: un tubo che contiene il liquido da analizzare, un polarizzatore ed un analizzatore.

Il tubo *m*, che contiene il liquido, è di ottone ricoperto internamente di stagno, chiuso ai suoi capi con due lastre di vetro a facce parallele, e collocato sopra un sostegno *k*, il quale è terminato alle sue estremità da due tubi *r* ed *a*, nei quali trovansi i cristalli che servono di polarizzatori e di analizzatori, rappresentati in sezione nella figura 434.

Davanti all'orifizio S (fig. 434) si colloca una lucerna ordinaria a moderatore. La luce emessa da questa lucerna, nella direzione dell'asse

dell'istrumento, incontra dapprima un prisma birefrangente *r*, il quale serve di polarizzatore (568, 3.°). La sola immagine ordinaria arriva al-

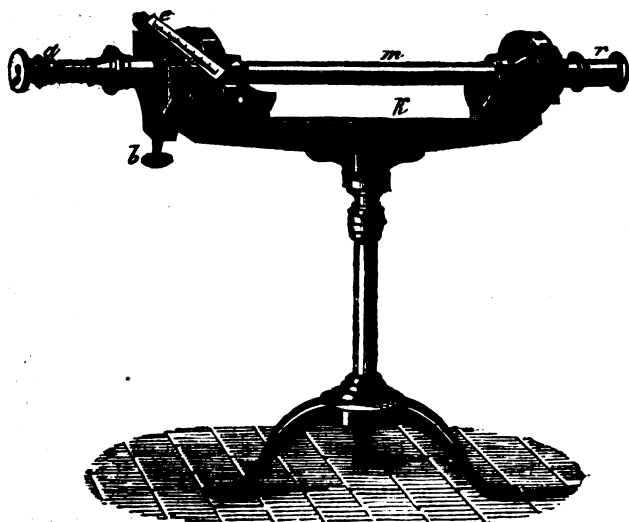



Fig. 433 (a. = 47).

l'occhio, perchè l'immagine straordinaria viene proiettata fuori del campo della visione a motivo dell'ampiezza dell'angolo formato dai raggi ordi-

Fig. 434.

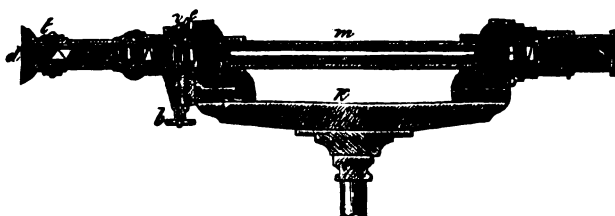



Fig. 435. Fig. 436. Fig. 437.

nario e straordinario. Infine, il prisma birefrangente ha una posizione tale che il piano di polarizzazione è verticale e passa per l'asse dell'apparecchio.

All'uscire dal prisma birefrangente, il fascio polarizzato incontra una lamina di quarzo *q* a doppia rotazione, cioè che può far deviare il piano di polarizzazione a destra ed a sinistra. Per ciò essa è formata di due piastre di quarzo di rotazione contraria, poste l'una accanto all'altra, come mostra la figura 437, in modo che la linea di separazione sia verticale ed in uno stesso piano coll'asse dell'apparecchio. Questi quarzi, tagliati perpendicolarmente all'asse, hanno una grossezza di $3^{mil},75$, a cui corrisponde una rotazione di 90°, e danno una tinta rosso-violacea che è la *tinta di passaggio*. Siccome il quarzo sì destrogiro che levogiro, ad eguale grossezza, fa rotare sempre di una stessa quantità (570, 3.°), ne risulta che i due quarzi *a* e *b* fanno rotare ugualmente il piano di polarizzazione, l'uno a destra e l'altro a sinistra. Per conseguenza, guardandoli con un prisma birefrangente, presentano sempre la stessa tinta.

Il fascio polarizzato, dopo di aver attraversato il quarzo *q*, passa nel liquido contenuto nel tubo *m*, indi incontra un'altra piastra di quarzo *i*, semplice e di grossezza arbitraria, di cui vedremo or ora l'ufficio.

In *n* trovasi il compensatore destinato a distruggere la rotazione della colonna liquida *m*. Esso è formato da due quarzi aventi la stessa rotazione a destra od a sinistra, ma contraria a quella della piastra *i*. Questi due quarzi, rappresentati in sezione dalla figura 435, si ottengono tagliando obbliquamente una piastra di quarzo a facce parallele, in modo di formare due prismi N ed N di angoli eguali; ponendo in seguito questi due prismi l'uno accanto all'altro, come mostra la figura, ne risulta una sola piastra a facce parallele, la quale offre il vantaggio di poter variare di grossezza. Perciò, ciascuno dei prismi è fissato in un pezzo mobile entro una scanalatura, in modo che possa scorrere in un senso o nell'altro, conservando sempre le facce omologhe parallele. Questo movimento si ottiene per mezzo di una doppia asta dentata e di un rocchetto che si fa girare mediante un bottone *b* (fig. 433 e 434).

Quando le lamine si spostano rispettivamente nel senso indicato dalle frecce (fig. 435), è evidente che la somma delle loro grossezze aumenta, e che diminuisce quando le lamine si muovono in senso contrario. Una scala *e* ed un nonio *v* (fig. 433) seguono le lamine nel loro movimento e servono a misurare le variazioni di grossezza del compensatore. Questa scala rappresentata insieme col suo nonio nella figura 436, porta due divisioni aventi uno zero comune, l'una da sinistra a destra pei liquidi destrogiri, l'altra da destra a sinistra pei liquidi levogiri.

Quando il nonio è allo zero della scala, la somma delle grossezze delle piastre N, N, è precisamente uguale a quella della piastra *i*, e siccome la rotazione di quest'ultima è contraria a quella del compensatore, l'effetto è nullo. Ma se si fanno muovere in un senso o nell'altro le lamine del compensatore, prevale quest'ultimo od il quarzo *i*, ed avvi rotazione a destra od a sinistra.

Dietro al compensatore trovasi un prisma birefrangente *c* (fig. 434) che serve di analizzatore per osservare il fascio polarizzato che ha attraversato il liquido e le diverse piastre di quarzo. Onde comprendere più facilmente l'ufficio del prisma *c*, trascureremo per un istante i cristalli e le lenti rappresentati nella figura alla sua destra. Se dapprima si fa coincidere lo zero del nonio *v* con quello della scala, e se il li-

quido contenuto nel tubo è inattivo, le azioni del compensatore e della piastra *i* si distruggono, e siccome l'azione del liquido è nulla, le due metà della piastra *q*, vedute attraverso al prisma *c*, danno rigorosamente la stessa tinta, come si disse più sopra. Ma se si sostituisce al tubo pieno di liquido inattivo un secondo tubo pieno di una soluzione di zuccaro, la facoltà rotatoria di questa soluzione si aggiunge a quella diretta nello stesso senso di uno dei quarzi della piastra a doppia rotazione *q*, e diminuisce d'altrettanto la facoltà rotatoria dell'altro quarzo. Ne risulta che le due metà della piastra *q* non presentano più la stessa tinta e che la metà *a* (fig. 437), per es., è rossa, mentre la metà *b* è turchina. Allora girando il bottone *b* verso destra o verso sinistra, si fanno muovere i prismi del compensatore, fintanto che la differenza d'azione del compensatore e della piastra *i* compensi la facoltà rotatoria della soluzione, ciò che avviene quando le due metà della piastra Q a doppia rotazione ritornano alla loro tinta primitiva.

La direzione della deviazione e la grossezza del compensatore si misurano collo spostamento relativo della scala *e* e del nonio *v*. Le divisioni della scala sono tali che 10 di esse corrispondono alla variazione di 1 millimetro nella grossezza del compensatore, e siccome il nonio dà i decimi di queste divisioni, ne risulta che misura le variazioni di $\frac{1}{100}$ di millimetro nella grossezza del compensatore.

Allorchè le tinte delle due metà della piastra Q sono identiche ed eguali a quelle che avevano prima dell'interposizione della soluzione zuccherina, si legge sulla scala a quale divisione corrisponda il nonio, ed il numero corrispondente dà immediatamente il titolo della soluzione. Per ciò, si parte dal principio che sciogliendo nell'acqua $16^{gr},471$ di zuccaro candito ben disseccato e ben puro, indi, ridotto il volume della soluzione a 100 centimetri cubici, ed osservata in un tubo lungo 20 centimetri, la deviazione prodotta è precisamente quella che comporta una grossezza di quarzo di 1 millimetro. Ciò posto, per fare l'analisi di uno zucchero greggio, si adotta sempre un peso normale di $16^{gr},471$ di zucchero, che si fa sciogliere nell'acqua, e il volume della soluzione essendo condotto a 100 centimetri cubici, si riempie il tubo di 20 centimetri di lunghezza, e si osserva il numero indicato dal nonio, quando si è ritrovata la tinta primitiva. Questo numero essendo, per esempio 42, se ne conclude che la soluzione contiene 42 per 100 di zucchero cristallizzabile in confronto di quello che conteneva la soluzione di zucchero candito e, per conseguenza, $16^{gr},471 \times \frac{42}{100}$, ossia $6^{gr},918$. Questo risultato però non è esatto se non quando si ha la certezza che lo zuccaro sottoposto all'esperienza non venne mescolato a zuccaro non cristallizzabile o ad altra sostanza levogira. Allora si ricorre all'*inversione*, cioè si trasforma, per mezzo dell'acido cloridrico, lo zuccaro cristallizzabile che è destrogiro, in zuccaro non cristallizzabile che è levogiro; e si ripete di nuovo l'operazione la quale, combinata colla prima, dà la quantità di zuccaro cristallizzabile. Non potendo qui dare maggiore sviluppo a questo soggetto, rimandiamo il lettore ad un eccellente libretto pubblicato da Clerget, nel 1850, sull'uso del saccarimetro.

Ci rimane a spiegare l'uso dei cristalli e delle lenti *o, g, f, a,* collocate dietro il prisma *c* (fig. 434). Il loro insieme forma ciò che Soleil

ha denominato il *produttore delle tinte sensibili*. Infatti, la tinta più sensibile, quella cioè che permette di distinguere una differenza piccolissima nella colorazione delle due metà della piastra di rotazione, non è la stessa per tutti gli occhi; per la maggior parte, è una tinta turchino-violacea che assomiglia a quella del fiore di lino. Importa adunque di produrre facilmente questa tinta o qualunque altra più sensibile all'occhio dell'osservatore. Per ciò, davanti al prisma *c*, trovasi dapprima collocata una piastra di quarzo *o* tagliata perpendicolarmente all'asse, indi un piccolo canocchiale di Galileo (514), formato da una lente biconvessa *g* e da una lente biconcava *f*, le quali ponno essere avvicinati l'una all'altra od allontanate a seconda della visione distinta di ciascun osservatore. Finalmente, l'apparecchio è completato da un prisma di Nicol *a*, fisso in un tubo *t* che può girare sopra sè stesso. Ora, siccome rispetto al quarzo *o* il prisma birefrangente *c* agisce come polarizzatore, ed il prisma *a*, come analizzatore, ne segue che facendo girare quest'ultimo a destra od a sinistra, la luce che ha attraversato il prisma *c* e la piastra *o* cangia di tinta (571), e finisce a dare quella che lo sperimentatore ha adottata per tinta fissa.

574. **Analisi dell'orina dei diabetici.** — Nella malattia conosciuta sotto il nome di *diabete succherino*, le orine sono cariche di grande quantità di zucchero fermentabile, detto *zuccaro di diabete*. Questo zuccaro, allo stato naturale nelle orine, fa deviare verso destra il piano di polarizzazione. Per valutare la quantità di zuccaro contenuta nelle orine dei diabetici si incomincia, se non sono abbastanza limpide, col chiarificarle per mezzo dell'acetato basico di piombo; si filtra, si riempie il tubo *m* di orina così chiarificata, indi si gira il bottone *b* fintanto che ottengasi per la piastra a due rotazioni la stessa tinta che si aveva prima dell'interposizione dell'orina. Siccome l'esperienza ha insegnato che 100 parti della scala del saccarimetro rappresentano lo spostamento che si deve dare ai quarzi compensatori quando si trovano nell'orina $225^{gr},6$ di zuccaro per ogni litro, ne risulta che ogni divisione della scala rappresenta sensibilmente $2^{gr},256$ di zuccaro. Quindi, per ottenere la quantità di zuccaro contenuta in una data orina, bisogna moltiplicare $2^{gr},256$ pel numero indicato dal nonio al momento in cui si ottiene la tinta primitiva.

COLORI PRODOTTI DALL'INTERFERENZA DEI RAGGI POLARIZZATI

575. **Legge dell'interferenza dei raggi polarizzati.** — Dopo la scoperta della polarizzazione, Arago e Fresnel cercarono se i raggi polarizzati presentavano fra loro gli stessi fenomeni d'interferenza dei raggi non polarizzati, e per tal modo giunsero a scoprire le seguenti leggi sull'interferenza della luce polarizzata, ed in pari tempo i fenomeni della colorazione descritti qui in seguito (576 e 581).

1.ª LEGGE. — *Due raggi polarizzati in uno stesso piano interferiscono fra loro assolutamente come due raggi naturali.*

2.ª LEGGE. — *Due raggi polarizzati in due piani perpendicolari non interferiscono nel caso in cui interferirebbero due raggi naturali.*

3.ª LEGGE. — *Due raggi polarizzati dapprima in piani perpendicolari ponno essere condotti nello stesso piano di polarizzazione senza acquistare per ciò la proprietà di interferire fra loro.*

4.ª LEGGE. — *Due raggi polarizzati in piani perpendicolari e condotti in seguito allo stesso stato di polarizzazione, interferiscono come la luce ordinaria, se furono primitivamente polarizzati in uno stesso piano.*

5.ª LEGGE. — *Nei fenomeni d'interferenza di raggi che hanno subito la doppia rifrazione, il sito delle frange colorate non è determinato unicamente dalla differenza delle direzioni o delle velocità, perchè, in certe circostanze, bisogna tener conto di una semi-ondulazione in più o in meno.*

Queste leggi sono di una grande importanza, perchè indicano le diverse circostanze nelle quali i raggi polarizzati danno o no luogo ai fenomeni di colorazione che ora descriveremo.

576. **Tinte prodotte dalla luce polarizzata attraversando le lamine sottili birefrangenti.** — Studiando le proprietà della luce polarizzata (564) abbiamo veduto che un fascio di luce polarizzata per la sua riflessione su di un primo specchio, non si riflette più sopra un secondo se i due piani di riflessione sono perpendicolari fra loro; che la luce polarizzata non può attraversare una piastra di tormalina il cui asse sia parallelo al piano di polarizzazione; e finalmente che la luce polarizzata pel suo passaggio attraverso ad un prisma birefrangente dà una sola immagine quando il piano della sezione principale di questo prisma è perpendicolare o parallelo al piano di polarizzazione. Ora, in queste diverse esperienze, basta che la luce, dopo essere polarizzata, attraversi una lamina sottile di mica, di solfato di calce, di cristallo di rocca, di calce carbonata, o di qualunque altra sostanza birefrangente, perchè i fenomeni siano interamente cangiati.

L'apparato più comodo per osservare gli effetti che allora si producono è quello di Noremberg (fig. 429 e 450). In *g* (fig. 450) avvi un prisma birefrangente od una tormalina, od un prisma di Nicol. La piastra sottile cristallizzata è collocata sul diaframma *e* od in *p*, sulla lastra di vetro coperta di stagno; però bisogna notare che in quest'ultimo caso la luce polarizzata sulla lastra non coperta di stagno *n* attraversa due volte la lamina cristallizzata collocata in *p*, e che per conseguenza si ottiene lo stesso effetto che se la piastra, essendo attraversata una sola volta dalla luce polarizzata, avesse una grossezza doppia.

Ora, se l'analizzatore collocato in *g* è un prisma birefrangente, abbiamo veduto (569) che il fascio polarizzato sulla lastra *n*, finchè non è collocata sull'apparato alcuna lastra cristallizzata, è rinviato verso il prisma, lo attraversa subendo doppia rifrazione, d'onde risulta che l'occhio situato al di sopra vede due immagini attraverso all'apertura *e* praticata al centro del diaframma *a*. Queste due immagini sono bianche e di intensità disuguale, e facendo ruotare il prisma sopra un sostegno, ciascuna di esse si indebolisce successivamente e si estingue ogniqualvolta la sezione principale del prisma diviene perpendicolare o parallela al piano di polarizzazione del fascio.

Ciò posto, quando si interpone al disotto del prisma una lamina birefrangente tagliata parallelamente all'asse, si osservano i seguenti fenomeni:

1.° Se la sezione principale della lamina è parallela o perpendicolare al piano di polarizzazione del fascio, l'occhio scorge sempre due immagini bianche che subiscono, quando si fa ruotare il prisma birefrangente, le stesse variazioni di intensità che subirebbero qualora non vi fosse la lamina.

2.° Quando la sezione principale della lamina non è parallela nè perpendicolare al piano di polarizzazione, le due immagini sono colorate ed i loro colori sono complementari, giacchè quando i loro lembi si sovrappongono, la parte comune è bianca.

3.° Se restando fissa la lamina, si fa ruotare il prisma, le tinte delle immagini non cangiano, ma la loro intensità varia, ed il massimo di splendore ha luogo quando la sezione principale del prisma fa con quella della lamina un angolo di 45 o di 135 gradi, cioè nelle posizioni intermediarie a quelle che corrispondono al caso in cui le due immagini sono bianche; inoltre le immagini cangiano successivamente fra loro i propri colori, passando pel bianco, il che avviene quando le sezioni principali del prisma e della lamina sono paralleli o perpendicolari fra loro.

Adoperando per analizzatore, invece di un prisma birefrangente, una tormalina od un prisma di Nicol, si osservano ancora gli stessi fenomeni di colorazione, ma si scorge una sola immagine.

577. **Influenza della grossezza delle lamine.** — Per lamine della stessa sostanza le tinte cangiano colla grossezza e diminuiscono di intensità a misura che le lamine sono più grosse. Avvi anche un limite di grossezza oltre il quale non si ottiene alcuna colorazione. Per la mica, questo limite è di 88 centesimi di millimetro; pel solfato di calce ed il cristallo di rocca di 45 centimetri; e per lo spato d'Islanda di 25 millesimi. La difficoltà di tagliare questa sostanza in lamine abbastanza sottili rende difficilissimo l'ottenere la colorazione per mezzo di essa. Al contrario, colla mica e col solfato di calce che si dividono benissimo in lamine sottilissime, l'esperienza riesce assai bene.

Si ottengono con una stessa lamina differenti tinte inclinandola più o meno rispetto al fascio polarizzato che la attraversa. Ciò infatti corrisponde a farne variare la grossezza.

Per lamine di una stessa sostanza ma di grossezza crescente, le tinte variano secondo le stesse leggi degli anelli colorati di Newton corrispondenti a strati d'aria sempre più grossi (562); soltanto la grossezza della lamina cristallizzata deve superare di molto quella dello strato d'aria. Infatti, per una tinta dello stesso ordine, la grossezza della mica deve essere 440 volte quella dello strato d'aria; pel cristallo di rocca ed il solfato di calce, 230 volte; e per lo spato d'Islanda, 13 volte soltanto.

578. **Teoria della colorazione prodotta dalla luce polarizzata.** — Fresnel, fondandosi sempre sulla teoria delle ondulazioni, diede una spiegazione semplice e completa delle tinte prodotte dalla luce polarizzata quando attraversa le lamine birefrangenti, facendo vedere che queste tinte hanno per causa l'ineguale velocità dei raggi ordinario e straordinario, dopo che hanno attraversata la lamina birefrangente, ineguaglianza d'onde risultano, fra i due sistemi di ondulazioni, dei ritardi o degli avanzamenti che li pongono nelle condizioni convenienti per interferire e quindi per isviluppare dei colori (560).

Per comprendere la formazione dei colori per l'interferenza dei raggi polarizzati che hanno attraversata una lamina birefrangente, consideriamo ciò che avviene nell'esperienza dell'apparato di Noremberg, descritto superiormente (566), e supponiamo che la lamina cristallizzata sia ad un solo asse e che questo asse faccia un angolo di 45 gradi col piano di polarizzazione del fascio incidente. Al suo passaggio attraverso alla lamina birefrangente questo fascio si divide in due, ordinario e straordinario, di ineguale intensità, e polarizzati ciascuno in piani che fanno

coll'angolo di polarizzazione primitivo degli angoli di + 45° e — 45°; d'onde risulta che questi due fasci sono polarizzati in due piani rettangolari fra loro, e per conseguenza non può esservi interferenza, giusta la seconda legge di Arago e Fresnel (575). Ciò posto, siano O ed E i due fasci ordinario e straordinario che, uscendo dalla lamina sottile, cadono sul prisma birefrangente, la cui sezione principale supporremo collocata nel piano di polarizzazione primitivo; ciascuno dei fasci O ed E, attraversando il prisma, si divide rispettivamente in due altri che noi indicheremo con O_o e con O_e pel primo, e con E_o ed E_e pel secondo, i quali quattro fasci hanno del resto la stessa intensità. Ora, i fasci E_e ed O_e sono paralleli siccome aventi lo stesso indice di rifrazione, e non differiscono fra loro che per un certo intervallo d; i fasci E_o ed O_o sono pure paralleli, ma differiscono per un intervallo $d \pm \frac{1}{2}$ ondulazione, giusta il principio che passando dal raggio ordinario al raggio straordinario, bisogna tener conto di una mezza ondulazione in più od in meno (575, 5.ª legge). Ora, siccome i raggi di ciascuna coppia sono ricondotti in uno stesso piano di polarizzazione, cioè i raggi ordinari O_o ed E_o nel piano della sezione principale del prisma, ed i raggi O_e ed E_e in un piano perpendicolare al primo, non avvi più ostacolo all'interferenza dei raggi di una stessa coppia e si vedono apparire dei colori complementari nei fasci che corrispondono agli intervalli d e d + un numero dispari di mezze ondulazioni.

Se ora si immagina che la lamina cristallizzata sia attraversata da un secondo fascio polarizzato in un piano perpendicolare al piano di polarizzazione del primo fascio, questo nuovo fascio subirà le stesse divisioni e suddivisioni del precedente, ma gli intervalli di ritardo saranno differenti. Infatti, siccome il piano di polarizzazione del nuovo fascio si riduce ora a quello della rifrazione ordinaria, mentre quello del primo fascio si riportava al piano della rifrazione straordinaria, ne risulta una differenza di mezza ondulazione nella posizione relativa dei due sistemi di onde O ed E alla loro emergenza; cioè l'intervallo che nel caso precedente era d, ora sarà d meno un numero dispari di mezze oscillazioni; e dopo la trasmissione attraverso al prisma, gli intervalli di ritardo dei due fasci saranno rispettivamente $d - \frac{n}{2}$ e d, invece di d e $d + \frac{n}{2}$ come erano dapprima, n rappresentando un numero dispari. Ciò spiega come i due fasci cangino di colore quando si fa ruotare il piano di polarizzazione di 90 gradi.

Rimane a conoscere perchè nell'esperienza precedente non si producano dei colori, quando la lamina cristallizzata, invece di essere attraversata dalla luce polarizzata, lo è dalla naturale. Ora, si è veduto (566) che la luce naturale può sempre essere considerata siccome formata di due fasci uguali polarizzati ad angolo retto; d'onde risulta, secondo quello che abbiamo detto superiormente, che allorquando la lamina cristallizzata è attraversata da luce naturale, ciascun fascio emergente O ed E dà origine a due colori complementari che si sovrappongono e che, essendo di uguale intensità, producono della luce bianca.

579. **Anelli colorati prodotti dalla luce polarizzata attraversando le lamine birefrangenti.** — Siccome nell'esperienza istituita coll'apparato

di Noremberg e descritta precedentemente (570), la lamina cristallizzata è attraversata perpendicolarmente alle sue facce da un fascio di luce parallelo, tutte le parti della lamina agiscono nello stesso modo, e si ha dovunque la stessa tinta. Ora, non si ottengono più gli stessi effetti quando i raggi incidenti attraversano la lamina sotto obbliquità differenti, perchè ciò corrisponde a grossezze disuguali; d'onde risultano anelli affatto simili agli anelli di Newton (562).

L'apparato migliore per osservare questi nuovi fenomeni è la *pinzetta a tormalina*. Chiamasi così un piccolo istrumento il quale si compone di due tormaline tagliate parallelamente all'asse ed incastrate ciascuna in un disco di ottone. Questi due dischi forati al loro centro ed anneriti, sono montati entro due anelli di filo di rame inargentato, il quale si avvolge sopra sè stesso, come mostra la figura 439, in modo da formare

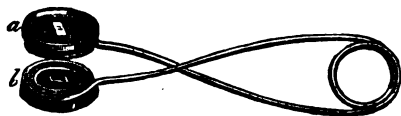



Fig. 438. Fig. 439.

una molla e di far applicare l'una contro l'altra le due tormaline. Siccome queste girano coi dischi, si dispongono ad arbitrio in modo che i loro assi siano paralleli o perpendicolari fra loro.

Ciò posto, fissato al centro di un disco di sughero il cristallo sul quale si vuole esperimentare (fig. 438), lo si colloca fra le due tormaline, indi si applica la pinzetta davanti all'occhio in modo di ricevere la luce diffusa dal cielo. La tormalina opposta all'occhio agisce in tal caso come polarizzatore, e l'altra come analizzatore (568). Se il cristallo che così si osserva, essendo ad un solo asse e tagliato perpendicolarmente all'asse, è illuminato da luce semplice, per es. dalla luce rossa, si scorge una serie di anelli circolari alternativamente rossi ed oscuri. Con altro colore semplice si ottengono anelli simili, ma il loro diametro aumenta colla rifrangibilità del colore. Al contrario, il diametro degli anelli diminuisce quando la grossezza delle lamine aumenta, ed oltre una certa grossezza non se ne produce più. Se invece di illuminare le lamine con luce omogenea si rischiarano con luce bianca, siccome gli anelli di differenti tinte che allora si producono non hanno lo stesso diametro, si sovrappongono in parte, formando anelli iridescenti assai brillanti.

La posizione del cristallo non ha influenza sugli anelli, altrimenti però deve dirsi della posizione relativa delle due tormaline. Per es., esperimentando sullo spato d'Islanda tagliato perpendicolarmente all'asse e della grossezza di 1 a 20 millimetri, quando gli assi delle tormaline sono perpendicolari fra loro, si osserva una bella serie di anelli vivamente colorati ed attraversati da una croce nera come mostra la figura 440; se gli assi delle tormaline sono paralleli, gli anelli si colorano da tinte complementarie a quelle che avevano prima, ed allora sono attraversati da una croce bianca (fig. 441).

Per comprendere la formazione degli anelli a mezzo della luce polarizzata attraversando le lamine birefrangenti, bisogna osservare che,

nel caso che noi consideriamo, queste lamine sono attraversate da un fascio conico convergente, il cui vertice è l'occhio dell'osservatore. Ne segue che la grossezza della lamina, che i raggi debbono attraversare, aumenta colla loro divergenza, ma che per raggi ugualmente obbliqui questa grossezza è la stessa; d'onde risultano differenze di velocità fra

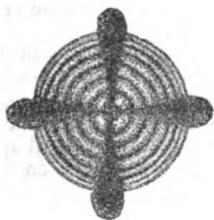



Fig. 440. Fig. 441. Fig. 442.

il raggio ordinario e il raggio straordinario che spiegano la formazione dei colori e la loro disposizione circolare attorno all'asse del fascio e del cristallo. La croce nera è dovuta all'essere la luce polarizzata assorbita nel piano della sezione principale della tormalina e nel piano perpendicolare.

Si osservano effetti analoghi con tutti i cristalli ad un asse, come la tormalina, lo smeraldo, il corindone, il berillo, la mica, il solfato di piombo, il prussiato di potassa, il cristallo di rocca. Però con quest'ultimo la croce sparisce per effetto di polarizzazione rotatoria (571).

580. **Anelli nei cristalli a due assi.** — Anche nei cristalli a due assi si producono anelli colorati, ma di forma più complicata. Allora le liste colorate, invece di essere circolari e concentriche, presentano la forma di curve a due centri, e il centro di ciascun sistema corrisponde ad uno degli assi del cristallo. Le figure 443, 444 e 445 rappresentano

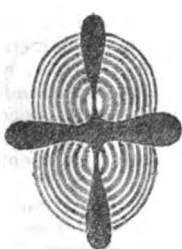
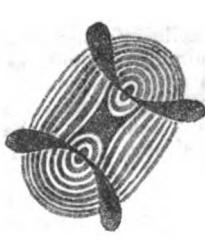



Fig. 443. Fig. 444. Fig. 445.

le curve che dà colla pinzetta a tormalina l'azotato di potassa tagliato perpendicolarmente all'asse. Quando gli assi delle due tormaline sono rettangolari si ha l'anello rappresentato dalla figura 443; indi, facendo girare lentamente il cristallo, senza cambiare la disposizione delle tormaline, si passa a quello rappresentato dalla figura 444 per giungere a

quello rappresentato dalla figura 445 quando il cristallo venne fatto girare di 45 gradi. Se gli assi delle tormaline sono paralleli, si ottengono le stesse curve colorate, ma le loro tinte sono supplementarie e la croce nera si cambia in croce bianca. Se l'angolo dei due assi del cristallo oltrepassa 20 a 25 gradi non si ponno vedere contemporaneamente i due sistemi di curve: ciò accade, per es., per l'arragonite la quale dà la figura 442.

Herschel, il quale misurò con cura gli anelli forniti dai cristalli a due assi, li assomiglia al genere di curve conosciuto in geometria sotto il nome di *lemniscate*.

581. **Colorazione prodotta dal vetro temperato o compresso.** — Il vetro ordinario non è dotato di doppia rifrazione, ma acquista questa proprietà quando, per una causa qualunque, la sua elasticità viene modificata in una direzione più che nell'altra. Per ciò basta comprimerlo fortemente in un senso, curvarlo o temprarlo, cioè raffreddarlo rapidamente dopo averlo riscaldato. Se allora il vetro è attraversato da un fascio di luce polarizzata, si ottengono effetti di colorazione affatto analoghi a quelli testè osservati nei cristalli birefrangenti, ma assai più variati, secondo la forma circolare, quadrata, rettangolare, triangolare che si diede alle piastre di vetro, e secondo il grado di tensione delle loro particelle.

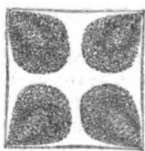
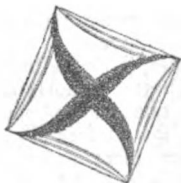



Fig. 446. Fig. 447. Fig. 449.

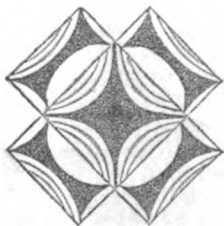
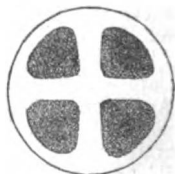



Fig. 448. Fig. 451. Fig. 450.

Se il polarizzatore è una piastra di vetro nero sul quale si riceve la luce del cielo, e l'analizzatore un prisma di Nicol, attraverso il quale si guardano le piastre di vetro attraversate dalla luce polarizzata, le figure 446, 447 e 448 rappresentano i disegni che si osservano facendo ruotare successivamente, sul suo proprio piano, una piastra quadrata di vetro temperato. Le figure 449 e 450 rappresentano i disegni che dà nello stesso caso una piastra circolare, e la figura 451 il disegno

dato da due piastre rettangolari sovrapposte; disegno che varia, esso pure, facendo ruotare il sistema di piastre.

I vetri compressi o ricurvi presentano effetti analoghi e che variano per le stesse condizioni.

582. **Polarizzazione del calorico.** — Il calorico, come la luce, può essere polarizzato per riflessione e per rifrazione (564); ma le ricerche a tal uopo presentano grandi difficoltà. Le prime furono fatte nel 1810 da Bérard e Malus; morto quest'ultimo, Bérard le continuò da solo.

Nelle esperienze di questo scienziato, i raggi calorifici riflessi da una prima lastra di cristallo erano ricevuti sopra una seconda lastra come nell'apparato di Noremberg (fig. 429), e di là cadevano su di un piccolo specchio metallico che li concentrava sul bulbo di un termometro differenziale. Bérard per tal modo osservò un minimo d'intensità quando il piano di riflessione, sulla seconda lamina, era perpendicolare al piano di riflessione sulla prima. Questo fenomeno essendo eguale a quello che presenta la luce nel medesimo esperimento (564), Bérard ne conchiuse che il calorico riflettendosi sulla prima lastra si polarizzava.

Melloni applicò il suo termo-moltiplicatore allo studio della polarizzazione del calorico e, facendo passare i raggi calorifici attraverso a due tormaline parallele od attraverso a due pile di mica, constatò che si polarizzavano per rifrazione. Egli trovò inoltre che l'angolo di polarizzazione (565) è sensibilmente uguale pel calorico e per la luce.

LIBRO VIII.

DEL MAGNETISMO

CAPITOLO PRIMO

PROPRIETA' DELLE CALAMITE

583. **Calamite naturali e calamite artificiali.** — Chiamansi *calamite* certi corpi che hanno la proprietà di attrarre il ferro ed altri metalli, quali il nichelio, il cobalto ed il cromo. Però citeremo più innanzi alcuni esperimenti, i quali comprovano che le calamite agiscono realmente su tutti i corpi, in modo però assai debole, ora per attrazione ora per ripulsione (591).

Le calamite si distinguono in naturali ed artificiali. La *calamita naturale* o *pietra di calamita* è un ossido di ferro conosciuto in chimica sotto nome di *ossido magnetico.* La sua formola è $Fe^3O^4 = FeO + Fe^2O_3$, vale a dire che è formato di un equivalente di protossido e di un equivalente di sesquiossido. L'ossido magnetico è assai abbondante in natura; lo si rinviene nei terreni antichi, principalmente in Isvezia ed in Norvegia, ove lo si impiega come minerale di ferro, e fornisce la miglior qualità di ferro che si conosca. Cionullostante tutte le masse d'ossido di ferro magnetico non attraggono il ferro; solo accidentalmente esse godono di tale proprietà.

Le *calamite artificiali* sono spranghe od aghi di acciaio temperato (75), le quali non possedono naturalmente le proprietà delle calamite naturali, ma le acquistarono mediante lo strofinamento con una calamita o mediante processi elettrici che descriveremo in seguito. Si formano le calamite artificiali anche con ferro *dolce,* cioè con ferro sensibilmente privo di ogni sostanza eterogenea; ma la loro magnetizzazione non è durevole come quella delle spranghe d'acciaio.

Le calamite artificiali sono più potenti delle calamite naturali, ma fruiscono di proprietà affatto identiche.

La facoltà attrattiva delle calamite si esercita a qualunque distanza ed attraverso tutti i corpi; decresce rapidamente quando la distanza aumenta, e varia colla temperatura. Coulomb dimostrò che l'intensità magnetica di una spranga diminuisce a misura che se ne eleva la temperatura, e riprende il suo valore primitivo quando ritorna alla primitiva temperatura, purchè non sia oltrepassato un certo limite; giacchè, alla temperatura rossa le calamite perdono interamente la loro facoltà attrattiva.

L'attrazione tra la calamita e il ferro è reciproca, il che del resto avviene in ogni sorta di attrazione. Si può constatarlo presentando una massa di ferro ad una calamita, la quale ne viene attratta.

La forza attrattiva delle calamite ricevette il nome di *forza magnetica*, e la loro teoria fisica distinguesi pure col nome di *magnetismo* (1), espressione che non si deve confondere con quella di *magnetismo animale*, che viene adottata per esprimere l'influenza che una persona eserciterebbe su di un'altra mediante l'impero della sua volontà, influenza che non è ancora stata sufficientemente dimostrata.

584. **Poli e linea neutra.** — Le calamite non possedono in tutti i loro punti la stessa forza magnetica. Infatti facendo rotolare una spranga magnetizzata nella limatura di ferro, si vede quest'ultima aderire in grande quantità verso le estremità della spranga sotto forma di filamenti raddrizzati (fig. 452); ma l'aderenza della limatura diminuisce rapidamente dalle estremità verso il mezzo della spranga, ove è nulla.

Fig. 452.

La parte della superficie della calamita ove la forza magnetica è insensibile ricevette il nome di *linea neutra*, ed i due punti vicini alle estremità, ove si manifesta l'attrazione massima chiamansi *poli*. Ogni calamita naturale od artificiale presenta due poli ed una linea neutra; tuttavia nella magnetizzazione delle spranghe e degli aghi si producono qualche volta delle alternative di poli contrari situati tra i poli estremi. Questi poli intermedi si chiamano *punti conseguenti*. Talvolta essi sono pari, tal'altra dispari. Noi supporremo sempre il caso ordinario, cioè che le calamite abbiano due soli poli.

I poli si distinguono l'uno col nome di *polo australe*, l'altro con quello di *polo boreale*, espressioni desunte dall'azione che i poli terrestri esercitano sui poli delle calamite (592). Nelle nostre figure, il polo australe sarà sempre rappresentato dalla lettera *a* od A, il polo boreale dalla lettera *b* o B, e chiameremo poli dello *stesso nome* quelli che sono rappresentati dalle stesse lettere.

585. **Azioni mutue dei poli.** — I due poli di una calamità sembrano identici quando si presentano alla limatura di ferro; questa identità

(1) La parola *magnetismo* deriva dal greco μάγνης, nome dato dagli antichi alla pietra da calamita, minerale che, a quanto dicesi, fu da essi trovato per la prima volta presso Magnesia, città della Lidia.

però non è che apparente. Infatti, se si sospende un piccolo ago magnetizzato *ab* (fig. 453) ad un sottil filo e si avvicina al polo australe *a* il polo australe A di un altro ago, si osserva una viva ripulsione; avvicinando invece il polo A al polo boreale dell'ago mobile, si produce una forte attrazione. Adunque i poli *a* e *b* non sono identici, giacchè l'uno d'essi è respinto e l'altro è attratto dallo stesso polo A della calamita che si tiene in mano. Si verifica del pari che i due poli di quest'ultima differiscono fra loro presentandoli successivamente allo stesso polo *a* dell'ago mobile. Con uno d'essi avviene ripulsione e coll'altro attrazione. Si può quindi stabilire questa legge semplice sulle azioni reciproche che si esercitano fra due calamite:

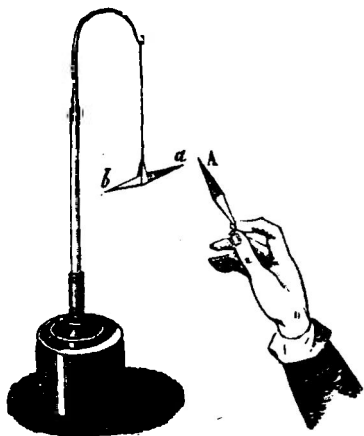



Fig. 453.

I poli dello stesso nome si respingono ed i poli di nome contrario si attraggono.

Le azioni contrarie del polo boreale e del polo australe si dimostrano anche per mezzo dell'esperienza seguente: si fa sostenere ad una spranga magnetizzata un oggetto di ferro, per esempio una chiave; poi sopra questa spranga se ne fa scorrere una seconda sensibilmente della stessa forza, avendo cura di mettere a riscontro i poli contrari (fig. 454). La

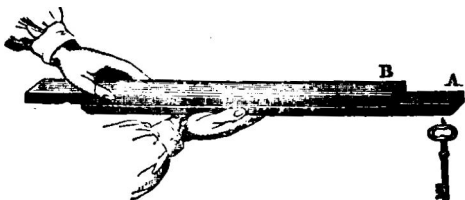



Fig 454.

chiave continua ad essere sostenuta finchè i due poli sono lontani, ma, tosto che essi sono sufficientemente ravvicinati, cade come se la spranga che la sosteneva avesse perduta ad un tratto la sua facoltà magnetica; il che però non è, perchè può di nuovo sostenerla appena si ritiri la seconda spranga.

586. **Ipotesi dei due fluidi magnetici** — Per ispiegare i fenomeni che abbiamo fatti conoscere, i fisici furono indotti ad ammettere l'ipotesi di due *fluidi magnetici*, ciascuno dei quali agisca per ripulsione sopra sè stesso e per attrazione sull'altro. Questi due fluidi furono detti l'uno *fluido australe*, l'altro *fluido boreale*, dai nomi dei poli delle calamite ove le loro azioni sono prevalenti.

Si ammette che prima della magnetizzazione questi due fluidi si trovino nell' acciaio combinati intorno a ciascuna molecola e si neutralizzino reciprocamente; ma che possano essere separati sotto l'influenza di una forza superiore alla loro mutua attrazione. e spostati attorno alle molecole senza uscire dalla sfera di attività che loro è assegnata attorno a ciascuna di esse. I fluidi sono allora *orientati*, cioè, nella sfera magnetica che avvolge ciascuna molecola, il fluido boreale è costantemente rivolto in una stessa direzione, ed il fluido australe in una direzione opposta, d'onde provengono due risultanti di direzione contraria, di cui i poli della calamita sono i punti di applicazione. Ma appena che l'orientazione dei fluidi cessa, si stabilisce di nuovo l'equilibrio attorno a ciascuna molecola e la risultante finale è nulla, cioè non vi è più nè attrazione nè ripulsione.

L'ipotesi dei due fluidi magnetici si presta in modo semplicissimo alla spiegazione dei fenomeni: epperò è generalmente adottata come metodo di dimostrazione. Tuttavia, vedremo in seguito che i fenomeni magnetici sembrano risultare non dalle azioni opposte di due fluidi speciali, ma da correnti particolari del fluido elettrico nei corpi calamitati; questa ipotesi presenta il vantaggio di collegare la teoria del magnetismo con quella dell'elettricità (727).

587. **Differenza fra le sostanze magnetiche e le calamite.** — Si dicono *sostanze magnetiche* le sostanze che vengono attratte dalla calamita, come il ferro, l'acciaio, il nichelio. Queste sostanze contengono i due fluidi, ma allo stato di neutralizzazione. I composti ferruginosi sono generalmente magnetici e tanto più quanto più abbondanti di ferro. Alcuni però, come il persolfuro di ferro, non sono attratti dalla calamita.

È facile il distinguere una sostanza magnetica da una calamita. La prima non ha poli; presentata successivamente alle due estremità di un ago mobile *ab* (fig. 453) le attrae ambedue, mentre la calamita ne attrarrebbe una e ne respingerebbe l'altra, qualora la si presentasse collo stesso polo.

588. **Magnetizzazione per influenza.** — Quando una sostanza magnetica vien messa a contatto con una spranga calamitata, i due fluidi

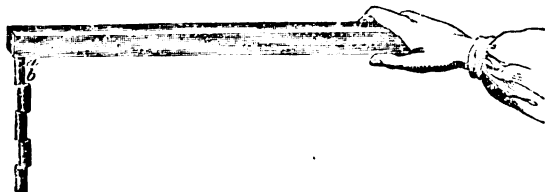



Fig. 455.

contenuti in essa sostanza sono separati, ed essa diviene, finchè dura il contatto, una vera calamita avente i suoi due poli e la sua linea neutra. Per es., se si fa sostenere da uno dei poli d'una calamita (fig. 455) un piccolo cilindro *ab* di ferro dolce, questo cilindro può alla sua volta portarne un secondo simile, questo un terzo, e così via, fino a 7 od 8, secondo la forza della spranga. Dunque ciascuno di questi piccoli cilindri è una calamita, ma solamente fino a che dura l'influenza

della spranga calamitata; poichè interrompendosi il contatto di questa col primo cilindro, immediatamente gli altri cilindri si staccano e più non conservano traccia alcuna di magnetismo. La separazione dei due fluidi fu adunque solamente momentanea, ciò che mostra come la calamita nulla abbia ceduto al ferro. Il nichelio pure si magnetizza benissimo sotto l'influenza d'una forte calamita.

La magnetizzazione per influenza spiega la formazione dei filamenti di limatura che s'attaccano ai poli della calamita (fig. 452). Le particelle in contatto colla calamita agiscono per influenza sulle particelle vicine, queste sulle successive, e così di seguito; ciò che dà origine alla disposizione filamentosa della limatura.

589. **Forza coercitiva.** — Dicesi *forza coercitiva* la forza più o meno intensa che, in una sostanza magnetica, si oppone alla separazione dei due fluidi od alla loro ricomposizione quando essi furono separati. Dalla precedente esperienza risulta essere minima questa forza nel ferro dolce, poichè questo metallo si calamita istantaneamente per l'influenza di una calamita. All'incontro nell'acciaio temperato questa forza è grande e tanto più quanto più forte è la tempera. Infatti, una spranga d'acciaio, messa a contatto con una calamita, non si magnetizza che lentamente; anzi bisogna strofinarla con uno dei poli della calamita onde acquisti tutta la forza di cui è capace. In questo caso adunque la separazione dei due fluidi offre una resistenza che non riscontrasi nel ferro dolce. Lo stesso si verifica nella ricomposizione, poichè una spranga d'acciaio, una volta calamitata, perde difficilmente le sue proprietà magnetiche. Fra poco si vedrà che mediante l'ossidazione, la pressione e la torsione, anche il ferro dolce può acquistare una certa forza coercitiva, ma di poca durata.

590. **Esperienza delle calamite spezzate.** — La presenza dei due fluidi in tutte le parti di una calamita si dimostra col seguente esperimento: si prende un lungo ago di acciaio e lo si magnetizza strofinandolo con uno dei poli di una calamita; indi, constatata l'esistenza dei poli e della linea neutra colla limatura di ferro, si spezza l'ago nel suo mezzo, cioè nella direzione della sua linea neutra. Ora, presentando successivamente le due metà ai poli di un ago mobile (fig. 453), si osserva che invece di contenere un solo fluido, hanno ciascuna due poli contrari ed una linea neutra. Parimenti se si rompono queste nuove calamite in due parti, si trova ancora che ciascuna di esse è una calamita completa avente i suoi due poli e la sua linea neutra; e così di seguito finchè si ponno continuare le divisioni. Per analogia, se ne conchiude che le più piccole parti di una calamita contengono i due fluidi.

591. **Azione delle calamite su tutti i corpi; corpi diamagnetici.** — Coulomb, pel primo nel 1802, osservò che le calamite agiscono su tutti i corpi in gradi più o meno marcati; egli constatò questo fenomeno facendo oscillare alcune piccole aste di diverse sostanze prima fra i poli opposti di due forti spranghe calamitate, poi lungi dall'influenza di qualsiasi calamita, e paragonando i numeri delle oscillazioni eseguite nell'uno e nell'altro caso, in tempi eguali. Dapprima questi fenomeni furono attribuiti alla presenza di materie ferruginose nei corpi sottoposti all'esperienza; ma Lebaillif, e più tardi i Becquerel dimostrarono che le calamite esercitano realmente un'azione su tutti i corpi, anche sui gas. Inoltre si constatò che questa azione ora è attrattiva, ora repulsiva: i corpi che vengono attratti ricevettero il nome di *corpi magnetici* e quelli che vengono respinti furono detti *corpi diamagnetici*. A questi ultimi

appartengono il bismuto, il piombo, il solfo, la cera, l'acqua, ecc. Il rame ora è magnetico ora diamagnetico, il che probabilmente dipende dal suo grado di purezza.

Faraday, nel 1847, riconobbe che le calamite potenti esercitano sulle fiamme un'azione ripulsiva, che egli attribuì ad una differenza di diamagnetismo fra i gas. In seguito, Edmondo Becquerel, il quale fece alcuni lavori importanti su questa materia, riconobbe che, fra tutti i gas, l'ossigeno è quello che ha la maggior facoltà magnetica, e che un metro cubico di questo gas condensato agirebbe sopra un ago magnetizzato come $5^{gr},5$ di ferro.

Alcuni fisici riguardarono il diamagnetismo siccome proprietà distinta del magnetismo. Edmondo Becquerel collega fra loro i fenomeni del magnetismo e del diamagnetismo mediante un'ipotesi ingegnosa: egli non ammette che vi siano due generi di azione fra i corpi e le calamite, ma solo una magnetizzazione per influenza, e che la ripulsione esercitata sopra certe sostanze sia dovuta all'essere queste ultime circondate da un mezzo più magnetico di loro.

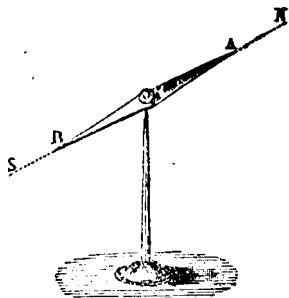
Nella teoria dell'elettricità, parlando dei fenomeni d'induzione, faremo conoscere un'azione reciproca che si esercita fra le calamite ed i metalli in movimento.

CAPITOLO II.

MAGNETISMO TERRESTRE, BUSSOLE

592. **Azione direttrice della terra sulle calamite.** — Se si sospende ad un filo un ago magnetizzato, come lo rappresenta la figura 453, o se lo si appoggia su di un perno, intorno al quale possa facilmente muoversi (fig. 456), si osserva che l'ago, invece di arrestarsi in una posizione qualunque, finisce sempre col fermarsi in una posizione che è sensibilmente quella dal nord al sud. Lo stesso accade quando in un vaso pieno d'acqua si colloca un piccolo disco di sughero e su di questo una piccola spranga magnetizzata; dapprima il sughero oscilla, e quando si arresta, la linea retta che congiunge i due poli della calamità è ancora sensibilmente nella direzione da nord a sud. Ma bisogna notare che in questa esperienza il sughero e la spranga non si avanzano nè verso il nord nè verso il sud. L'azione dei poli terrestri sulle calamite non è dunque attrattiva, ma *soltanto direttrice*.

Fig. 456.

Siccome su tutti i punti del globo furono fatte analoghe osservazioni, si paragonò la terra ad un'immensa calamita, i cui poli sarebbero vicini ai poli terrestri, e la cui linea neutra coinciderebbe sensibilmente

coll'equatore. Fu dietro questa ipotesi che venne denominato fluido boreale quello che predomina al polo boreale del globo, e polo australe quello che predomina al polo opposto. In questa supposizione la terra agendo sugli aghi come una calamita, i poli dello stesso nome si respingono, e quelli di nome contrario si attraggono (585). Per conseguenza, quando un ago magnetizzato si ferma nella direzione da nord a sud, il polo rivolto verso il nord contiene il fluido australe, e quello rivolto verso il sud contiene il fluido boreale; perciò il polo che guarda il nord chiamasi *polo australe*, e quello che guarda il sud, *polo boreale*.

593. **Coppia magnetica terrestre.** — Dietro quanto abbiamo detto è facile il vedere che l'azione magnetica della terra sopra ago magnetizzato può essere paragonata ad una *coppia*, cioè ad un sistema di due forze uguali, parallele e contrarie, applicate alle due estremità dell'ago. Infatti, sia un ago *ab* mobile su di un perno, e facente un angolo più o meno grande col meridiano magnetico MM' (fig. 457). Il polo boreale

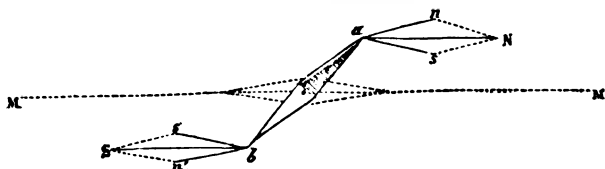



Fig. 457.

della terra agendo per attrazione sul polo australe *a*, e per ripulsione sul polo boreale *b*, ne risultano due forze contrarie *an* e *bn'*, che sono eguali e parallele; giacchè il polo terrestre è molto lontano, e l'ago abbastanza piccolo, perchè si possa ammettere che le due direzioni *an* e *bn'* siano parallele, e che i due poli *a* e *b* siano egualmente distanti dal polo boreale dalla terra. Ora, il polo australe di quest'ultima agendo nello stesso modo sui poli dell'ago, ne risultano due altre forze *as* e *bs*, ancora eguali e parallele. Ma le due forze *an* e *as* che si riducono ad una risultante unica *a*N, e le forze *bn'* e *bs'* ad una risultante *b*S, sono queste due forze *a*N e *b*S eguali, parallele e contrarie che costituiscono la *coppia magnetica terrestre*; ed è questa coppia che fa girare l'ago fino a che si arresti nel meridiano magnetico, posizione sulla quale le due forze N ed S si fanno equilibrio.

594. **Meridiano magnetico, declinazione.** — Si sa che il *meridiano astronomico* di un luogo è il piano che passa per questo luogo e pei due poli terrestri, e che il *meridiano* è la traccia di questo piano sulla superficie del globo. Parimenti, chiamasi *meridiano magnetico* di un luogo, il piano verticale che passa in questo luogo pei due poli di un ago magnetizzato mobile, in equilibrio su di un asse verticale.

Ciò posto, siccome il meridiano magnetico, in generale, non coincide col meridiano astronomico, chiamasi *declinazione dell'ago magnetizzato*, in un luogo, l'angolo che in questo luogo fa il meridiano magnetico col meridiano astronomico, o, ciò che torna lo stesso, l'angolo che fa la direzione dell'ago col meridiano. La declinazione dicesi *orientale* od *occidentale*, secondochè il polo australe dell'ago trovasi all'est o all'ovest del meridiano astronomico.

595. **Variazione della declinazione.** — La declinazione dell'ago magnetizzato, variabilissima da un luogo ad un altro, è occidentale in Europa ed in Africa, orientale in Asia e nelle due Americhe. Inoltre, essa presenta numerose variazioni in uno stesso luogo: alcune, che si ponno considerare come regolari, sono secolari, annue o diurne; altre, che sono irregolari, si indicano col nome di *perturbazioni*.

Variazioni secolari. — Per uno stesso luogo la declinazione varia col tempo, e sembra che l'ago faccia all'est ed all'ovest del meridiano astronomico alcune oscillazioni la cui durata è di parecchi secoli. La tavola seguente fa conoscere le variazioni che subì la declinazione a Parigi dopo il 1580:

Anni.	Declinazioni.	Anni.	Declinazioni.
1580	11° 20′ all'est.	1830	22 12′ all'ovest.
1663	0	1835	22 4 —
1700	8 10 all'ovest.	1850 . . . . . , .	20 31 —
1780	19 55 —	1855	19 57 —
1785	22 00 —	1860 (11 novembre)	19 32 —
1814	22 34 —	1861 (26 ottobre) .	19 26 —
1825	22° 22 —		

Questa tavola mostra che, dopo il 1580, la declinazione a Parigi variò di oltre 34 gradi, e che il massimo di deviazione occidentale ebbe luogo nel 1814; d'allora in poi l'ago ritorna verso l'oriente.

Variazioni annue. — Le variazioni annue furono verificate da Cassini, il quale, nel 1784, osservò che dall'equinozio di primavera al solstizio d'estate, l'ago, a Parigi, retrocedeva verso l'est, e che al contrario avanzava verso l'ovest nei nove mesi successivi. La massima ampiezza osservata durante lo stesso anno fu di 20 minuti. Del resto, le variazioni annue sono poco conosciute e non sembrano costanti.

Variazioni diurne. — Oltre le variazioni secolari ed annue la declinazione subisce alcune variazioni diurne assai deboli e che si ponno osservare soltanto sopra lunghi aghi e mediante strumenti assai sensibili. Nei nostri climi, l'estremità nord dell'ago si muove tutti i giorni dall'est all'ovest dal levare del sole fin verso un'ora dopo mezzogiorno; indi ritorna verso l'est con un movimento retrogrado in modo da riprendere presso a poco, verso le dieci ore di sera, la posizione che occupava alla mattina. Durante la notte l'ago presenta soltanto piccolissime variazioni, però si sposta di nuovo assai debolmente verso l'ovest.

A Parigi l'ampiezza media della variazione diurna è, pei mesi di aprile, maggio, giugno, luglio, agosto e settembre, di 13 a 15 minuti, e per gli altri mesi, di 8 a 10 minuti [1]. Sonvi alcuni giorni in cui essa si eleva a 25 minuti, e alcuni altri in cui non oltrepassa 5 minuti. La massima deviazione non ha luogo dovunque alla stessa ora. L'ampiezza delle variazioni diurne decresce dai poli verso l'equatore, ove è piccolissima. Vicino all'equatore avvi una linea senza variazione diurna.

Variazioni accidentali o perturbazioni. — La declinazione dell'ago magnetizzato è disturbata accidentalmente nelle sue variazioni diurne da parecchie cause, quali sono le aurore boreali, le eruzioni vulcaniche, lo scoppio del fulmine. L'effetto delle aurore boreali si fa sentire a

[1] A Milano l'ampiezza media della variazione diurna è pei mesi di aprile, maggio, giugno, luglio, agosto e settembre dai 12 ai 14 minuti, e per gli altri mesi dai 4 ai 6'5.

(*Nota del Trad.*)

grandi distanze. Alcune aurore visibili soltanto nel nord dell'Europa, agiscono sull'ago a Parigi, ove si osservarono delle variazioni accidentali di 20 minuti. Nelle regioni polari l'ago alcune volte oscilla di parecchi gradi; il suo moto irregolare, nel giorno che precede l'aurora boreale, serve di pronostico al fenomeno.

596. **Bussola di declinazione.** — La *bussola di declinazione* è uno strumento che serve a misurare la declinazione magnetica di un luogo, quando se ne conosce il meridiano astronomico. Si compone di una scattola di rame AB (fig. 458), il cui fondo è munito di un cerchio graduato M. Al centro avvi un perno sul quale si appoggia un ago magnetizzato *ab*, assai leggero e foggiato a guisa di rombo allungato.

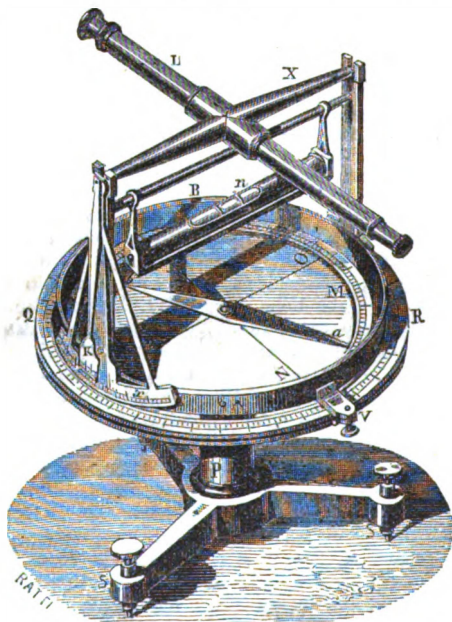



Fig. 458.

Alla scattola sono applicati due sostegni, i quali portano un asse orizzontale X, su cui è fissato un canocchiale astronomico L, mobile in un piano verticale. La scattola AB è sostenuta da un piede P sul quale può liberamente girare in senso orizzontale, trasferendo seco il canocchiale. Un cerchio fisso QR, chiamato *cerchio azimutale*, serve a misurare il numero dei gradi di rotazione del canocchiale, per mezzo di un verniero V fissato alla scattola. Finalmente, l'inclinazione del canocchiale coll'orizzontale viene misurata da un verniero K che vien mosso dall'asse del canocchiale e gira sopra un arco di cerchio fisso *x*.

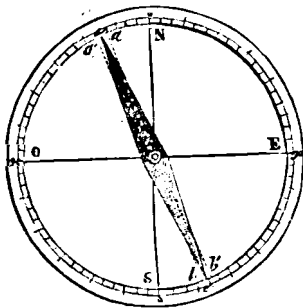
Ciò posto, conoscendosi il meridiano astronomico di un luogo per determinarne la declinazione magnetica, si incomincia dal disporre la bus-

sola orizzontalmente per mezzo delle viti di livello S,S e della livelletta n, indi si fa girare la scattola AB, in modo che il canocchiale si trovi nel piano del meridiano astronomico. Leggendo allora, sul cerchio graduato M, l'angolo che fa l'ago magnetico col diametro N, che corrisponde allo zero della graduazione e si trova esattamente nel piano del canocchiale, si ha la declinazione, la quale è occidentale od orientale, secondo che il polo a dell'ago si ferma all'occidente od all'oriente del diametro N.

Nel caso in cui il meridiano astronomico del luogo non fosse conosciuto, si può determinarlo per mezzo della stessa bussola. Per ciò, si fa uso del cerchio azimutale QR e dell'arco di cerchio x, osservando un astro conosciuto prima e dopo il suo passaggio al meridiano, ed adoperando il *metodo delle altezze uguali,* descritto nei trattati di cosmografia per determinare la meridiana.

597. **Metodo del rovesciamento.** — Le applicazioni della bussola di declinazione or ora indicate non sono esatte se non quando l'asse magnetico dell'ago, cioè la retta che passa pei suoi due poli, coincide coll'asse di figura, vale a dire colla retta che congiunge le sue due estremità. Siccome questa condizione, in generale, non è soddisfatta, si corregge questa causa d'errore col metodo del rovesciamento. Per ciò, l'ago non è fissato al cappelletto, ma gli è soltanto sovrapposto, onde si possa toglierlo e rivolgerlo, collocandolo di nuovo sul cappelletto, in modo che la faccia inferiore diventi superiore e viceversa. Prendendo la media fra la declinazione che indica allora l'ago e quella che indicava dapprima si ha la declinazione esatta.

Fig. 459.

Infatti, se la retta ce (fig. 459) rappresenta l'asse di figura dell'ago, e la retta ab il suo asse magnetico, la vera declinazione non è indicata dall'arco cN, il quale è troppo grande, ma dall'arco aN. Ora, se si rivolge l'ago, l'asse magnetico ab non prende la posizione $a'b'$, ma ritorna esattamente alla sua direzione primitiva, mentre l'estremità c, passando allora fra i punti a ed N, segna un arco troppo piccolo, e minore della vera declinazione, precisamente di una quantità eguale a quella di cui il primo arco era maggiore. La media quindi fra i due archi osservati dà la declinazione vera.

598. **Bussola marina.** — L'azione direttrice della terra sull'ago magnetico ricevette una importante applicazione nella *bussola marina*, conosciuta anche sotto i nomi di *compasso di variazione* e di *compasso di mare.* È una bussola di declinazione destinata a dirigere il corso delle navi. La figura 460 la rappresenta chiusa in una cassa rettangolare che si colloca essa pure in una cassa più grande chiamata *abitacolo,* e che è fissata sul ponte, alla parte posteriore del vascello. La figura 461 ne dà una sezione trasversale. In queste due figure, le stesse lettere indicano gli stessi pezzi.

L'ago ab (fig. 461), mobilissimo su di un perno, è fissato alla superficie inferiore di una foglia di talco t, sulla quale è segnata una stella o *rosa* a 32 raggi, i quali segnano gli otto rombi dei venti, i semi-rombi

ed i quarti. Affinchè la bussola possa conservar sempre la sua posizione orizzontale, malgrado l'ondulazione trasversale e longitudinale della nave, è a *sospensione di Cardano*, cioè sostenuta da due anelli concentrici mobili, l'uno intorno all'asse *cd*, l'altro intorno all'asse *xz* perpendicolare al primo.

Un'apertura M, chiusa da una lastra di vetro smerigliato, serve a rischiarare la bussola durante la notte. Per ciò, una lampada collocata

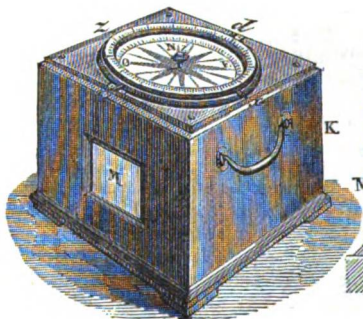
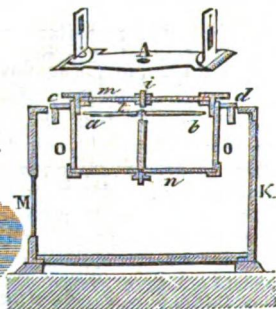



Fig. 460. Fig. 461.

fuori della cassa, davanti alla lastra, proietta la sua luce nell'interno. Il fondo *n* della cassa cilindrica O, nella quale trovasi l'ago, è una lastra di vetro smerigliato, la quale lascia passare la luce per rischiarare la foglia di talco *t*, che porta la rosa ed è trasparente. Una seconda lastra di vetro *m* ricopre la bussola ed un perno *i*, fissato al centro di questa lastra, serve a collocare una diottra A che si adopera soltanto quando si vogliono riconoscere le spiagge.

Per dirigere una nave mediante la bussola, si osserva dapprima, sopra una carta marina, secondo qual rombo di vento debba dirigersi il vascello onde recarsi alla sua destinazione. Allora, tenendo gli occhi sempre rivolti alla bussola, il timoniere gira il timone, fintanto che il rombo determinato, segnato dalla rosa, venga a coincidere con una *linea fiduciale* passante pei due punti *c* e *d*, segnati sui lembi della cassa (fig. 460) e nella direzione della chiglia della nave. Però, le variazioni che subisce la declinazione nei diversi punti del globo obbligano i navigatori a correggere continuamente le osservazioni che fanno colla bussola.

Non si conosce l'inventore della bussola nè l'epoca della sua invenzione. Guyot de Provins, poeta francese del dodicesimo secolo, parla, pel primo, dell'uso della calamita per la navigazione. Gli antichi navigatori, i quali non conoscevano la bussola, non avevano altra guida che il sole o la stella polare: quindi erano costretti a navigare sempre in vista alle spiagge, arrischiando di smarrirsi quando il cielo era annuvolato.

599. **Inclinazione, equatore magnetico.** — Attesa la direzione verso nord che assume la bussola di declinazione, si potrebbe supporre che la forza da cui è sollecitata provenga da un punto dell'orizzonte; però

così non è, giacchè se si dispone l'ago in modo che si possa muovere liberamente in un piano verticale, attorno ad un asse orizzontale, si osserva che quantunque il centro di gravità dell'ago coincida esattamente coll'asse di sospensione, il suo polo australe, nei nostri paesi, inclina costantemente verso il polo boreale della terra. Nell'altro emisfero, invece, il polo boreale dell'ago inclina verso il polo australe del globo.

Chiamasi *inclinazione* l'angolo che fa l'ago coll'orizzonte quando il piano verticale in cui si muove coincide col meridiano magnetico. In un piano diverso dal meridiano magnetico l'inclinazione aumenta, ed è di 90° in un piano perpendicolare al meridiano magnetico. Infatti, siccome allora l'azione magnetica della terra si decompone in due forze, una verticale e l'altra orizzontale, la prima fa prendere all'ago la sua posizione verticale, mentre l'altra, agendo nella direzione dell'asse di sospensione, non può far girare l'ago.

L'inclinazione, al pari della declinazione, varia da un luogo all'altro, ma secondo una legge meglio determinata. Infatti si osserva che vicino al polo boreale della terra evvi un luogo in cui l'inclinazione è di 90°, e che partendo da questo punto diminuisce colla latitudine fino all'equatore, ove è nulla, ora sotto questo medesimo circolo, ora in punti che ne sono poco distanti. Nell'emisfero australe ricompare l'inclinazione, ma in senso contrario; cioè si abbassa al disotto dell'orizzonte il polo boreale dell'ago.

Chiamasi *equatore magnetico* la curva che passa per tutti i punti in cui l'inclinazione è nulla, e *poli magnetici* i punti in cui l'inclinazione è di 90°. Secondo le osservazioni di Duperrey, l'equatore magnetico taglia l'equatore terrestre in due punti quasi diametralmente opposti, l'uno nel grande Oceano, l'altro nell'oceano Atlantico. Questi punti sembrano animati da un moto di traslazione da oriente ad occidente. Quanto ai poli magnetici, ne esistono due, l'uno nell'emisfero boreale, presso l'isola Melville, a 74° 27′ di latitudine N; l'altro nell'emisfero australe, sulla terra Vittoria, all'ovest del vulcano Erebus, a circa 77° di latitudine S.

L'inclinazione varia anche in uno stesso luogo, da un'epoca ad un'altra. Nel 1671, essa era, a Parigi, di 75 gradi. In seguito essa fu sempre decrescente, e il 28 ottobre 1861, essa era di 66°,7. Secondo le osservazioni fatte all'Osservatorio, la diminuzione annuale dell'inclinazione è sensibilmente di 3 minuti.

Parlando dell'ELETTRICITA' faremo conoscere la causa probabile del magnetismo terrestre (728).

600. **Bussola di inclinazione.** — Chiamasi *bussola di inclinazione* uno strumento che serve a misurare l'inclinazione magnetica. Questa bussola, tutta in ottone, ad eccezione dell'ago, si compone di un cerchio orizzontale *m*, graduato e sostenuto da tre viti da livello (fig. 462). Al disopra di questo cerchio avvi una piastra A, mobile intorno ad un asse verticale e che sostiene, per mezzo di due colonne, un secondo cerchio graduato M, il quale misura l'inclinazione; un telaio *r* sostiene l'ago *ab*, ed un livello *n* serve a far conoscere quando il diametro che passa pei due zeri del cerchio M venne, per mezzo delle tre viti da livello, disposto orizzontalmente.

Ciò posto, per osservare l'inclinazione si incomincia dal determinare il meridiano magnetico, il che si ottiene facendo ruotare la piastra A

sul cerchio *m* finchè l'ago si dispone in direzione verticale, posizione che assume quando trovasi in un piano perpendicolare al meridiano magnetico (599). In seguito facendo ruotare la piastra A di 90° sul cerchio *m*, si conduce il cerchio verticale M nel meridiano magnetico. L'angolo *dca* che fa allora l'ago magnetizzato col diametro orizzontale, è l'angolo di inclinazione.

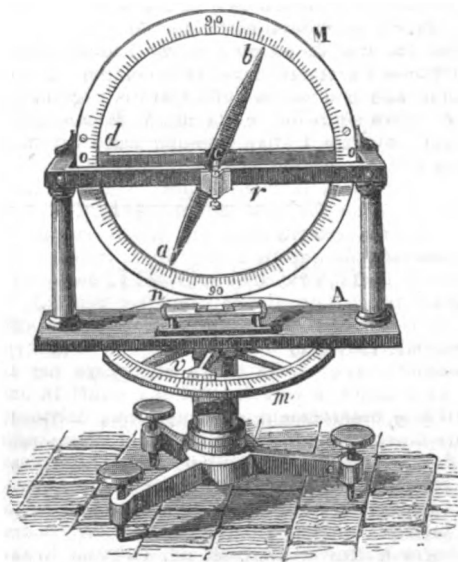



Fig. 462.

Però qui si incontrano due cause di errore, delle quali bisogna tener conto: 1.ª può accadere che l'asse magnetico dell'ago non coincida col suo asse di figura; da ciò un errore che si corregge col metodo del rovesciamento, come per la bussola di declinazione (597); 2.ª può darsi che il centro di gravità dell'ago non coincida coll'asse di sospensione, ed allora l'angolo *dca* è troppo piccolo o troppo grande, secondo che il centro di gravità trovasi al disopra od al disotto del centro di sospensione; giacchè nel primo caso l'azione della gravità è contraria a quella del magnetismo terrestre per far inclinare l'ago, mentre nel secondo le è concorrente. Si corregge questo errore invertendo i poli dell'ago, ciò che si ottiene strofinandolo coi poli contrari di due spranghe magnetizzate, in modo che ciascun polo dell'ago sia strofinato da un polo dello stesso nome. Siccome allora la direzione dell'ago è invertita, se il suo centro di gravità trovavasi al disopra del punto di sospensione, ora trovasi al disotto, e l'angolo d'inclinazione, che prima era minore del vero, ne diventa maggiore. Adunque si avrà il suo vero valore prendendo la media dei risultati ottenuti nelle operazioni or ora indicate.

601. **Ago e sistema astatici.** — Chiamasi *ago astatico* quello che è sottratto all'azione magnetica della terra. Tale sarebbe un ago mobile attorno ad un asse situato nel piano del meridiano magnetico parallelamente all'ago di inclinazione; perchè siccome allora la coppia magnetica terrestre agisce secondo l'asse, non può imprimere all'ago alcuna direzione determinata.

Un *sistema astatico* è la riunione di due aghi della stessa forza, congiunti parallelamente coi poli contrari dirimpetto, come mostra la figura 463. Se i due aghi sono rigorosamente della stessa forza, le azioni contrarie del globo sui poli a' e b e sui poli a' b, si distruggono, ed il sistema è completamente astatico. Vedremo nel galvanometro una importante applicazione del sistema magnetico astatico.

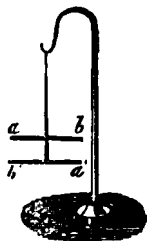



Fig. 463.

CAPITOLO III.

MAGNETIZZAZIONE, LEGGI DELLE AZIONI MAGNETICHE

602. **Sorgenti di magnetizzazione, saturazione.** — Le diverse sorgenti di magnetizzazione sono l'influenza delle calamite potenti, il magnetismo terrestre e l'elettricità. Quest'ultima sorgente di magnetizzazione verrà da noi fatta conoscere più tardi; la magnetizzazione colle calamite si può operare con tre metodi: quello del contatto semplice, quello del contatto separato e quello del doppio contatto.

Qualunque di questi tre metodi si adoperi per magnetizzare una spranga d'acciaio, la potenza magnetica che questo può acquistare ha sempre un limite, il quale dipende dalla sua tempera e dalla forza delle calamite che si adoperano per magnetizzarlo. Si esprime che questo limite venne raggiunto dicendo che la spranga è calamitata a *saturazione*. Quando venne oltrapassato il punto di saturazione, la spranga tosto vi ritorna, e tende anche a discendere al disotto di questo punto, se non si trattiene la sua forza magnetica per mezzo di armature, come vedremo quanto prima (607).

603. **Metodo del contatto semplice.** — Il metodo del contatto semplice consiste nel far scorrere il polo di una forte calamita da un capo all'altro della spranga che si vuol magnetizzare, e nel ripetère parecchie volte lo strofinamento, sempre nello stesso senso. Per tal modo il fluido neutro si trova decomposto (588) successivamente in tutta la lunghezza della spranga, e l'ultima estremità toccata dalla calamita mobile presenta un polo contrario a quello con cui venne operato lo strofinamento. Siccome questo processo comunica all'acciaio poca forza magnetica, non può essere adoperato che per piccole spranghe; avvi inoltre l'inconveniente di sviluppare frequentemente dei punti conseguenti (584).

604. **Metodo del contatto separato.** — Il metodo del contatto separato, adottato da Knight, in Inghilterra, nel 1745, consiste nel collo-

care i due poli contrari di due calamite d'egual forza nel mezzo della spranga che si vuol magnetizzare e nel farli scorrere simultaneamente ciascuno verso le estremità opposte della spranga, tenendoli in posizione verticale. In seguito, si porta di nuovo ciascuna calamita nel mezzo della spranga e si ripete lo strofinamento. Dopo parecchie consimili frizioni, praticate sulle due facce della spranga, questa è magnetizzata.

Duhamel perfezionò questo metodo collocando le due estremità della spranga che si vuol magnetizzare sui poli contrari di due calamite fisse, la cui azione concorre con quella delle calamite mobili che servono ad operare lo strofinamento; la posizione relativa dei poli deve essere quale la mostra la figura 464.

605. **Metodo del doppio contatto.** — Nel metodo del doppio contatto dovuto a Mitchell, le due calamite che servono ad operare lo strofinamento sono ancora collocate al mezzo della spranga che si vuol magnetizzare, coi poli opposti l'uno rimpetto all'altro; ma invece di scorrere in sensi contrari sono mantenuti ad una distanza fissa per mezzo di un piccolo pezzo di legno collocato fra loro (fig. 464), e scorrono insieme dal mezzo ad una delle estremità, poi da questa all'altra, e così di seguito in modo che ciascuna metà della spranga riceve lo stesso numero di frizioni.

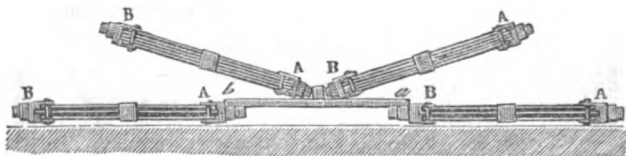



Fig. 464.

Epino, nel 1758, perfezionò questo metodo collocando, come nel processo del contatto separato, due forti spranghe magnetizzate sotto quella che si vuol magnetizzare, ed inclinando le calamite mobili di un angolo di 15 a 20° (fig. 464). In tal modo si ottengono delle spranghe fortemente magnetizzate, ma si producono sovente dei punti conseguenti.

Osserviamo inoltre che nei diversi processi di magnetizzazione colle calamite, queste non perdono della loro forza, il che dimostra che i fluidi magnetici non passano da una spranga all'altra.

606. **Magnetizzazione per mezzo dell'azione della terra.** — Siccome l'azione della terra sulle sostanze magnetiche è paragonabile a quella delle calamite, così il magnetismo terrestre tende costantemente a seperare i due fluidi che si trovano allo stato neutro nel ferro dolce e nell'acciaio. In quest'ultimo corpo però, essendo assai grande la forza coercitiva (589), l'azione della terra è insufficiente a magnetizzarlo. Così non avviene di una spranga di ferro dolce, principalmente se la si colloca nel meridiano magnetico parallelamente all'ago di inclinazione. I due fluidi sono allora separati, portandosi il fluido australe verso il nord ed il fluido boreale verso il sud. Però questa magnetizzazione è instabile, perchè invertendo la posizione della spranga si invertono tosto anche i suoi poli, la forza coercitiva del ferro dolce essendo nulla.

Tuttavia, si giunge a far acquistare al ferro dolce una forza coercitiva piuttosto sensibile, sottoponendolo, mentre trovasi sotto l'influenza della terra e nella direzione suindicata, ad una forte torsione o battendolo a freddo sopra un'incudine col martello. Ma la forza coercitiva così sviluppata è debole e si perde ben presto completamente, il che non avviene per l'acciaio.

L'influenza prolungata del magnetismo terrestre spiega la formazione delle calamite naturali e la magnetizzazione che osservasi frequenti volte nei vecchi oggetti di ferro o di acciaio. Le specie comuni di ferro in commercio, le quali non sono pure, possedono alquanta forza coercitiva: epperò presentano quasi sempre tracce di magnetizzazione, come si osserva nei chiodi, nelle palette, nelle molle da fuoco, ecc. La ghisa in generale ha molta forza coercitiva e si magnetizza assai bene.

607. **Fasci magnetici, armature delle calamite.** — Un *fascio magnetico* è un insieme di spranghe magnetizzate riunite parallelamente, coi poli dello stesso nome rivolti verso una estremità. Tuttavolta si dà loro la forma di ferro di cavallo (fig. 465), tal'altra una forma rettilinea (fig. 466). Il fascio rappresentato dalla figura 465 è composto di 5 lamine d'acciaio sovrapposte; quello della figura 466 risulta di 12 lamine disposte in 3 strati di 4 lamine ciascuno. La forma di ferro di cavallo è preferibile quando si voglia far portare un peso alla calamita, perchè sono contemporaneamente utilizzati i due poli. In ambedue queste sorta di fasci, le lamine sono temperate e magnetizzate separatamente, indi sovrapposte e riunite per mezzo di viti o di viere.

Fig. 465.

La forza di un fascio non è uguale alla somma delle forze di ciascuna spranga, il che proviene dall'azione ripulsiva che esercitano i poli vicini gli uni sugli altri; si aumenta la forza di una spranga facendo le lamine laterali più corte di 1 a 2 centimetri della lamina di mezzo (fig. 465 e 466).

Chiamansi *armature* delle calamite quei pezzi di ferro dolce A e B (figura 466) che si pongono a contatto coi poli per conservarne od anche aumentarne la potenza magnetica, in seguito di un'azione per influenza.

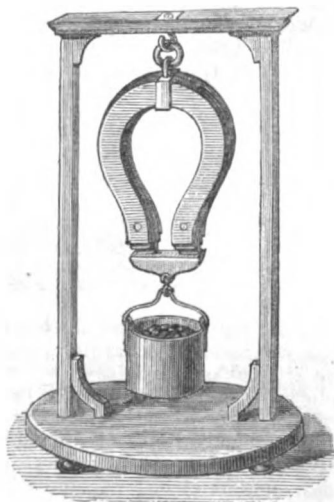



Fig. 466 (l. = 40).

La figura 467 rappresenta una pietra di calamita naturale colle sue armature; sulle facce che corrispondono ai poli sonvi due lamine di

ferro dolce, terminate da un piede massiccio. Sotto l'influenza della calamita naturale queste lamine si magnetizzano, e rappresentando con A e B i poli della calamita naturale, è facile l'intendere che i poli delle armature si troveranno rispettivamente in *a* e *b*. Ora queste armature, una volta magnetizzate, reagiscono alla loro volta sul fluido neutro della calamita naturale, lo decompongono ed accrescono così la sua potenza magnetica. Senza armatura le calamite naturali sono assai deboli; ma armate diventano capaci di portare pesi che si ponno aumentare progressivamente fino ad un certo limite che non si può oltrepassare.

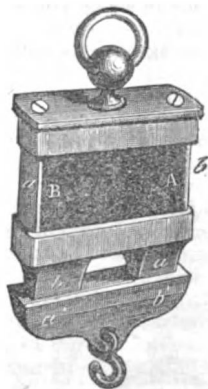



Fig. 467.

L'*áncora a'b'*, che è di ferro dolce, serve essa pure come una seconda armatura, giacchè magnetizzandosi per influenza, i suoi poli *a'* e *b'* reagiscono sui poli *a* e *b* della prima.

Per armare le calamite artificiali si dispongono a paia, come mostra la figura 468, collocando rimpetto i poli contrari, poi si chiude il circuito con due piccole barre di ferro dolce AB; siccome queste ultime si magnetizzano per influenza, i loro poli reagiscono sulle spranghe magnetizzate onde conservare la loro forza magnetica. Quanto agli aghi mobili (456) siccome si dirigono verso i poli magnetici del globo, l'influenza di quest'ultimo tiene luogo di armatura.

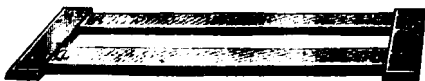



Fig. 468 (l. = 45).

608. **Legge delle attrazioni e delle ripulsioni magnetiche.** — Coulomb, pel primo, constatò la legge che *le attrazioni e le ripulsioni magnetiche si esercitano in ragione inversa del quadrato della distanza*, e la dimostrò con due metodi: quello della bilancia di torsione e quello delle oscillazioni.

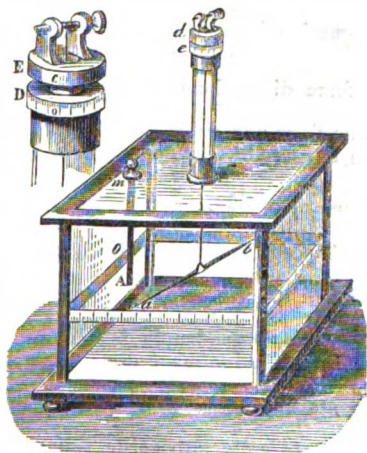
1.° *Metodo della bilancia di torsione.* — La bilancia di torsione consiste in una cassa di vetro (fig. 469), il cui coperchio, pure di vetro, può togliersi a volontà, ed ha vicino ai lembi un'apertura destinata ad introdurvi una calamita A. Al centro di questo coperchio avvi una seconda apertura alla quale è adattato un tubo di vetro che può ruotare a sfregamento dolce sugli orli dell'apertura stessa. Questo tubo alla sua parte superiore porta un *micrometro.* Chiamasi così un sistema di due pezzi, uno dei quali *e*, fisso, ha il suo contorno diviso in 360 gradi, e l'altro *d*, mobile, porta un punto che serve ad indicare di quanti gradi si fa ruotare questo pezzo *d* sullo schermo *e*. A sinistra della figura, in E ed in D, sono rappresentati sopra una scala più grande i due pezzi del micrometro. Al disco E sono fissati due montanti attraversati da un asse orizzontale sul quale si avvolge un filo sottilissimo d'argento che sostiene un ago magnetizzato *ab*. Finalmente, su una lista

di carta incollata sulla cassa, sono tracciate a destra e a sinistra dello zero *o* le divisioni che servono a misurare lo spostamento dell'ago *ab* e, per conseguenza, la torsione del filo d'argento.

Ciò posto, si fa corrispondere il punto *c* del disco E allo zero del quadrante D, indi si incomincia dal disporre la cassa in modo che il filo che sostiene l'ago *ab* e lo zero tracciato sulla listerella di carta si trovino nel meridiano magnetico; ritirato allora l'ago dal suo cappelletto, vi si sostituisce un ago simile di rame o di qualsiasi altro metallo non magnetico; indi si fa ruotare il tubo di vetro e con esso i pezzi E e D, in modo che quest'ago si fermi allo zero della graduazione. Prima di collocare al suo posto la spranga magnetizzata A, si toglie l'ago non magnetizzato che trovasi nel cappelletto, e vi si rimette l'ago magnetizzato *ab*; quest'ultimo trovasi allora precisamente nel meridiano magnetico e la torsione del filo d'argento è nulla.

Fig. 469 (a. = 56).

Disposto così l'apparato, prima di introdurvi la calamita A, è necessario conoscere l'azione della terra sull'ago mobile *ab*, allorchè quest'ultimo è deviato dal meridiano magnetico di un certo numero di gradi. Per ciò, si fa girare il pezzo E fintanto che l'ago AB si sposti di 1 grado nello stesso senso. Il numero di gradi meno uno, di cui si fece girare il micrometro, rappresenta evidentemente la torsione totale del filo. Nelle esperienze di Coulomb, questo numero era 35; esso però varia colla lunghezza e col diametro del filo e colla intensità della spranga *ab*. Ora, siccome l'ago rimane attualmente in equilibrio, è evidente che la forza di torsione del filo è precisamente uguale e contraria all'azione direttrice della terra. Quindi, questa azione, nelle esperienze di Coulomb, era rappresentata da 35, per una deviazione di un grado; ma siccome la forza di torsione è proporzionale all'angolo di torsione (70, 2.°) e l'azione direttrice della terra, una volta stabilito l'equilibrio, le è uguale, ne risulta che quest'ultima forza, per deviazioni di 2, 3... gradi, è rappresentata da 2 volte, 3 volte 35.

Determinata l'azione della terra, si fa entrare nella cassa la calamita A, avendo cura di situare rimpetto i poli dello stesso nome. Il polo *a* dell'ago mobile è respinto, e se si rappresenta con *d* il numero di gradi che misura l'angolo di deviazione, quando l'ago *ab* è in equilibrio, la forza con cui questo ago tende a ritornare verso il meridiano magnetico è rappresentata dalla somma $d + 35 \times d$, la parte *d* essendo dovuta alla torsione del filo, e la parte 35 *d* all'azione della terra; e siccome essa non vi ritorna, bisogna che la forza ripulsiva che si esercita fra i poli *a* ed A sia essa pure uguale a $d + 35 \times d$. Ciò posto, si gira il disco E in modo che l'angolo di deviazione *d* diventi la metà;

per ciò se l'ago ab fosse disposto come nella nostra figura, bisognerebbe girare il disco E da sinistra a destra. Rappresentando con n lo spostamento del disco E, si vede che il filo di sospensione è torto alla sua estremità superiore di n gradi a destra, ed alla sua estremità inferiore di $\frac{d}{2}$ gradi a sinistra; adunque la sua torsione totale è $n + \frac{d}{2}$. Per conseguenza, la forza reale che tende a ricondurre l'ago verso il meridiano magnetico è $\left(n + \frac{d}{2}\right) + 35 \times \frac{d}{2}$, in cui la parte $n + \frac{d}{2}$ rappresenta la forza di torsione, e la parte $35 \times \frac{d}{2}$ l'azione della terra. Ora, siccome l'ago non ritorna verso il meridiano, bisogna che la forza ripulsiva che si esercita fra i due poli a ed A sia essa pure rappresentata da $\left(n + \frac{d}{2}\right) + 35 \times \frac{d}{2}$.

Ciò posto, facendo i calcoli, cioè sostituendo ad n ed a d i numeri forniti dall'esperimento, si trova che la quantità $\left(n + \frac{d}{2}\right) + 35 \times \frac{d}{2}$ è precisamente quadrupla della quantità $d + 35 \times d$, ottenuta nella prima esperienza: adunque è dimostrata la legge di Coulomb, giacchè si esperimenta con archi d e $\frac{d}{2}$ abbastanza piccoli perchè si confondano sensibilmente colle loro corde, tali cioè che quando l'arco diventa la metà, lo stesso sensibilmente accade anche della distanza aA dei poli.

2.° *Metodo delle oscillazioni.* — Questo metodo consiste nel far oscillare per tempi eguali un ago magnetizzato, dapprima sotto l'influenza soltanto della terra, indi sotto l'influenza combinata della terra e del polo attraente di una calamita collocata successivamente a due distanze diverse. Dai tre numeri delle oscillazioni osservate si deduce poi la legge di Coulomb per mezzo del calcolo.

609. **Intensità del magnetismo terrestre.** — Un gran numero di fisici e di navigatori si occuparono di misurare l'intensità magnetica del globo in differenti luoghi ed in diverse epoche. A tale intento furono adottati parecchi metodi, i quali si riducono a far oscillare un ago d'inclinazione o di declinazione per un dato tempo, ed a dedurre dai numeri delle oscillazioni le intensità relative. Le osservazioni condussero alle leggi seguenti:

1.ª L'intensità del magnetismo terrestre aumenta colla distanza dell'equatore magnetico e sembra essere una volta e mezzo maggiore ai poli che all'equatore; la linea senza inclinazione è adunque nello stesso tempo la linea di minore intensità.

2.ª L'intensità magnetica del globo diminuisce colla distanza dalla superficie del suolo, e questo decremento segue probabilmente la legge del rapporto inverso del quadrato delle distanze.

3.ª L'intensità magnetica della terra varia colle ore del giorno; raggiunge il suo minimo fra le dieci e le undici ore del mattino, ed il suo massimo fra le quattro e le cinque dopo mezzogiorno.

4.ª L'intensità magnetica presenta alcune variazioni irregolari, e come la declinazione e l'inclinazione, subisce delle perturbazioni accidentali per l'influenza delle aurore boreali.

Chiamansi *linee isodinamiche* certe linee che sulla superficie del globo presentano in tutti i loro punti la stessa intensità magnetica; *linee isogone* quelle che presentano ovunque la stessa declinazione, e *linee isocline* quelle di eguale inclinazione. Duperrey costrusse nove curve isodinamiche al nord ed altrettante al sud dell'equatore magnetico, e trovò che queste linee, per la loro curva e direzione, hanno grande analogia colle *linee isoterme,* cioè di eguale temperatura.

LIBRO IX.

ELETTRICITÀ ALLO STATO STATICO

CAPITOLO PRIMO

PRINCIPII FONDAMENTALI

610. **Elettricità, ipotesi sulla sua natura.** — L'*elettricità* [1] è un agente fisico potente, la di cui presenza si manifesta mediante attrazioni e ripulsioni, mediante apparenze luminose, violenti scosse, decomposizioni chimiche e finalmente per mezzo di un gran numero d'altri fenomeni. Le cause che sviluppano elettricità sono lo strofinamento, la pressione, le azioni chimiche, il calore, il magnetismo e l'elettricità stessa.

Il filosofo Talete, 600 anni avanti l'êra cristiana, aveva già rimarcato la proprietà che ha l'ambra gialla sfregata di attrarre i corpi leggeri. Parlando di questa sostanza, Plinio dice: « Quando lo strofinamento le ha dato calore e vita, essa attira i fuscellini di paglia come la calamita il ferro. » Ma a ciò si limitavano le cognizioni degli antichi sull'elettricità. Non fu che alla fine del sedicesimo secolo che Gilbert, medico della regina Elisabetta, a Londra, richiamò di nuovo l'attenzione dei fisici sulla proprietà dell'ambra gialla, facendo altresì vedere come altre sostanze potevano acquistare mediante lo strofinamento la proprietà di attrarre. Data la spinta, le scoperte si successero altrettanto numerose che rapide. Gli scienziati che, dopo Gilbert, hanno in special modo contribuito ai progressi dell'elettricità, sono Ottone di Guericke, Dufay, Epino, Franklin, Coulomb, Volta, Davy, Œrsted, Ampère, Schweigger, Seebeck, De la Rive, Faraday e Becquerel. A quest'ultimo e a Davy è dovuta quasi tutta l'elettro-chimica [2].

[1] La parola *elettricità* deriva dal greco ἤλεκτρον, che significa succino od ambra gialla, perchè su questa sostanza venne per la prima volta osservata la proprietà di sviluppare l'elettricità per strofinamento. L'ambra gialla che oggidì si trova soltanto allo stato fossile, ha molti rapporti colla gomma *copale*. La si rinviene principalmente sulle rive del mar Baltico, ove è rigettata dai flutti, e sulle coste della Sicilia.

[2] Anche il Matteucci vuol essere ricordato fra i primi elettricisti, perocchè prescindendo dai bei lavori intorno a vari argomenti di elettricità dinamica, si può dire essere stato lui il fondatore della scienza elettro-fisiologica.

(*Nota del Trad.*)

Malgrado i numerosi lavori di cui l'elettricità fu oggetto, pure non si conosce nè l'origine nè la natura di questo agente. I fisici dovettero rimaner paghi di ipotesi, come fecero pel calorico, per la luce e pel magnetismo. Newton ritenne che la produzione della elettricità fosse il risultato di un principio etereo, posto in movimento dalle vibrazioni delle particelle dei corpi. L'abbate Nollet, fondandosi sugli effetti luminosi e calorifici dell'elettricità, la riguardò come una modificazione particolare del calorico e della luce. Noi faremo conoscere fra breve (617) la teoria di Symmer, nella quale si ammette l'esistenza di due fluidi elettrici, e quella di Franklin, in cui si ammette l'esistenza di un solo fluido.

611. **Elettricità statica ed elettricità dinamica.** — Fatta astrazione da tutte le ipotesi, lo studio della elettricità si divide in due grandi parti: nell'una si comprendono i fenomeni che presenta l'*elettricità statica* ossia allo stato di quiete; nell'altra i fenomeni che presenta l'*elettricità dinamica* ossia allo stato di movimento. L'elettricità statica ha per causa principale lo strofinamento; allora essa si accumula sulla superficie dei corpi, e vi si mantiene in equilibrio ad uno stato di *tensione* che si manifesta per mezzo di attrazioni e scintille. Allo stato dinamico l'elettricità risulta in ispecial modo da azioni chimiche, ed attraversa i corpi sotto forma di *corrente*, con una velocità paragonabile a quella della luce. In questo caso essa si distingue dall'elettricità statica principalmente per gli effetti chimici e pei suoi rapporti col magnetismo.

Noi tratteremo primieramente dell'elettricità statica, considerando più particolarmente quella che si sviluppa per mezzo dello strofinamento, e diremo che un corpo è *elettrizzato* allorchè possiede la proprietà di attrarre i corpi leggeri, o di produrre effetti luminosi.

612. **Sviluppo dell'elettricità per mezzo dello strofinamento.** — Un gran numero di sostanze, allorchè vengono strofinate con un pezzo di panno o con una pelle di gatto, acquistano immediatamente la proprietà di attrarre i corpi leggeri, come le barbe di penna, i pezzettini di paglia. Questa proprietà si osserva specialmente nell'ambra gialla, nella cera lacca, nella resina, nella gutta-perka, nel solfo, nel vetro, nella seta ed in molte altre sostanze.

Un corpo solido può anche elettrizzarsi mediante lo strofinamento con un liquido o con un gas: nel vuoto barometrico, il movimento del mercurio elettrizza il vetro; un tubo vuoto d'aria, nel quale siansi racchiusi alcuni globetti di mercurio, diviene luminoso nell'oscurità allorchè venga agitato il mercurio. Quanto ai gas, Wilson aveva trovato che una corrente d'aria, diretta sulla tormalina, sul vetro, sulla resina, elettrizzava queste sostanze positivamente; ma Faraday riconobbe dappoi, che non si ottengono effetti elettrici che allorchè l'aria è umida o tiene sospese delle polveri secche.

Lo strofinamento, a tutta prima, sembra che non produca effetti elettrici sopra molte sostanze, e particolarmente sui metalli; perchè se, tenendo con una mano una barra di metallo, la si strofina con un pezzo di panno, non si scorge alcuna traccia di attrazione allorchè venga presentata ad un pendolo elettrico (613). Non bisogna però conchiudere per questo che i metalli non si elettrizzano mediante strofinamento; questa è una proprietà generale di tutti i corpi, ma che per molti di essi non si manifesta, come si vedrà in seguito (615), che allorchè sono posti in condizioni convenienti.

S'ignora la cagione dello sviluppo dell'elettricità per istrofinamento. Wollaston la attribuì ad una ossidazione, ma Gray aveva già dimostrato prima di lui che lo strofinamento sviluppa elettricità nel vuoto, e Gay-Lussac riconobbe che si può sviluppare anche nell'acido carbonico secco.

613. **Pendolo elettrico.** — Si riconosce che un corpo è elettrizzato mediante piccoli strumenti che si chiamano *elettroscopii*, e dei quali il più semplice è il *pendolo elettrico* (fig. 470). Questo apparecchio consiste in una pallina di midollo di sambuco sospesa con un filo di seta,

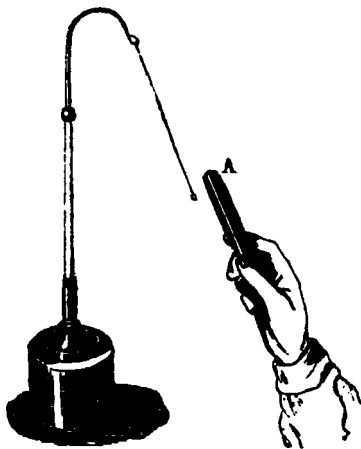
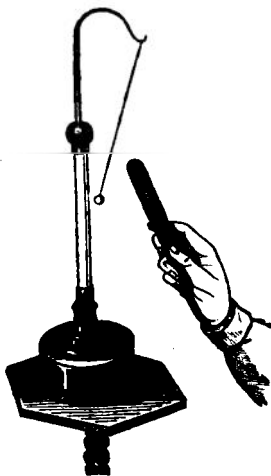



Fig. 470. Fig. 471.

ad un sostegno a piede di vetro. Quando alla pallina venga approssimato un corpo elettrizzato essa è dapprima attratta (fig. 470), poi respinta appena accaduto il contatto (fig. 471).

614. **Corpi conduttori e corpi non conduttori.** — Se si presenta ad un pendolino elettrico un bastone di cera lacca strofinato ad una delle sue estremità, si osserva che la palla non viene attratta che dalla estremità strofinata; la parte che non venne strofinata non dà alcun segno d'attrazione o ripulsione. Lo stesso avviene con un tubo di vetro, con un bastone di solfo, sino a tanto che non siano stati strofinati per tutta la loro lunghezza. Da ciò si conchiude che, in questi corpi, la proprietà elettrica non si propaga da una parte all'altra; ciò che si esprime col dire che non *conducono* l'elettricità. Al contrario, l'esperienza dimostra che, appena un corpo metallico ha acquistata la proprietà elettrica su uno de' suoi punti, essa si propaga istantaneamente su tutta la superficie del corpo, qualunque sia la sua estensione; il che si esprime col dire che i metalli *conducono* bene l'elettricità.

Da ciò la distinzione dei corpi in *buoni conduttori* e *cattivi conduttori*. I conduttori migliori sono i metalli, l'antracite, la piombaggine, il coke, il carbone di legna ben calcinato, le piriti, la galena; in se-

guito le soluzioni saline, che hanno però una facoltà conduttrice parecchie migliaia di volte minore di quella dei metalli; l'acqua allo stato di vapore ed allo stato liquido, il corpo umano, i vegetabili e tutti i corpi umidi. I corpi cattivi conduttori sono il solfo, la resina, la gomma lacca, il caoutchouc, la gutta-perka, l'essenza di trementina, la seta, il vetro, le pietre preziose, il carbone non calcinato, gli oli e i gas asciutti; ma l'aria ed i gas sono tanto meno isolanti (615) quanto più sono umidi. Del resto, il grado di conducibilità dei corpi non dipende solamente dalla sostanza di cui sono formati, ma ben anche dalla loro temperatura e dal loro stato fisico. Per es., il vetro che alla temperatura ordinaria è cattivissimo conduttore, conduce allorchè è arroventato. Lo stesso dicasi della gomma lacca e dello zolfo che perdono in parte la proprietà isolante quando si scaldano. L'acqua, che allo stato liquido conduce assai bene, allo stato di ghiaccio è cattivo conduttore. Il vetro polverizzato e i fiori di zolfo conducono l'elettricità abbastanza bene.

615. **Corpi isolanti, serbatoio comune.** — I corpi cattivi conduttori hanno ricevuto il nome di *corpi isolanti* o *isolatori* perchè si impiegano come sostegni quando si voglia conservare ad un corpo conduttore la sua elettricità. Questa condizione è indispensabile, perchè essendo la terra formata di sostanze che conducono l'elettricità, appena che un corpo conduttore elettrizzato comunica con essa mediante un altro corpo conduttore, l'elettricità si sperde immediatamente nel suolo, che appunto per questo vien detto *serbatoio comune.* Si isola un corpo sostenendolo su piedi di vetro, od appendendolo a cordoncini di seta, od appoggiandolo su un piatto di resina. Tuttavia, anche i più cattivi conduttori non isolano giammai completamente, onde ne viene che tutti i corpi elettrizzati perdono sempre più o meno lentamente la loro elettricità attraverso i sostegni su cui son situati; inoltre ve ne ha dispersione, pel vapore di acqua contenuto nell'aria, e questa, ordinariamente, è la perdita più abbondante.

A cagione della grande conducibilità dei metalli, non si può sui medesimi ottenere elettricità collo strofinamento, se non si ha l'avvertenza di isolarli e di strofinarli con un corpo non conduttore, come la seta od il taffetà coperto di cera. Ma adempiendo a queste condizioni, i metalli colle strofinamento si elettrizzano assai bene. Per dimostrarlo, si fissa un tubo di ottone ad un manico di vetro (472) e, tenendo in mano quest'ultimo, si strofina il tubo metallico con un pezzo di seta

Fig. 472 (l. = 50).

o di taffetà cerato; avvicinato in seguito al pendolino elettrico, si osserva un'attrazione che dimostra essere il metallo elettrizzato. Se si tiene in mano il metallo, avvi parimenti sviluppo di elettricità, ma si sperde immediatamente nel suolo.

Si dava anticamente ai corpi isolanti il nome di corpi *idio-elettrici* (propri all'elettricità), perchè si credevano i soli dotati della proprietà di elettrizzarsi collo sfregamento, e ai corpi buoni conduttori, il nome di corpi *anelettrici* (privi d'elettricità). Al giorno d'oggi che si sa che tutti i corpi si elettrizzano collo sfregamento, queste denominazioni non devono più essere usate.

616. **Distinzione di due specie di elettricità**. — Abbiamo veduto (618) che allorquando si presenta al pendolino elettrico un tubo di vetro strofinato con un pezzo di panno, dapprima vi è attrazione e, subito dopo il contatto, ripulsione. Gli stessi effetti si producono con un bastone di cera lacca egualmente strofinato; sembra quindi, a primo vedere, che l'elettricità sviluppata sul vetro sia eguale a quella sviluppata sulla cera lacca. Ma, spingendo più lontano l'osservazione, si riconosce che non è così. In fatti, trovandosi il tubo di vetro ed il bastone di cera lacca elettrizzati come abbiam detto, se, allorquando il pendolino elettrico è respinto dal vetro, si avvicina la resina, questa attira vivamente la pallottola di sambuco; egualmente, se al pendolino respinto dalla resina dopo il contatto, si presenta il tubo di vetro, si osserva una forte attrazione: vale a dire che *un corpo respinto dall'elettricità del vetro viene attratto dall'elettricità della resina*; e reciprocamente, che *un corpo respinto dall'elettricità della resina è attratto da quella del vetro*.

Fondandosi sui fatti che abbiamo descritto, Dufay, fisico francese, ammise pel primo, nell'anno 1734, l'esistenza di due elettricità di natura differente: l'una che si sviluppa sul vetro allorchè è strofinato colla lana, l'altra che si sviluppa sulla resina o sulla cera lacca quando vengono strofinate con un pezzo di panno o con una pelle di gatto; la prima fu chiamata *elettricità vitrea*, la seconda *elettricità resinosa*.

617. **Teorie di Symmer e di Franklin**. — Per ispiegare gli effetti contrari che presenta l'elettricità allo stato di elettricità vitrea e di elettricità resinosa, Symmer, fisico inglese, ammise due *fluidi elettrici*, ciascuno dei quali agisce per ripulsione sopra sè stesso e per attrazione sopra l'altro. Secondo questo fisico, questi fluidi esistono in tutti i corpi allo stato di combinazione, formando quello che vien detto *fluido neutro* o *fluido naturale*. Diverse cause, che sono specialmente lo strofinamento e le azioni chimiche, possono separarli, ed è allora che appariscono i fenomeni elettrici; ma questi fluidi hanno grande tendenza a riunirsi per formare di nuovo il fluido neutro.

I due fluidi elettrici si chiamano col nome di *fluido vitreo* e *fluido resinoso*. Venne loro altresì dato il nome di *fluido positivo* e di *fluido negativo*, espressioni tolte dalla teoria di Franklin. Questo fisico, non considerando che un solo fluido agente per ripulsione sulle sue proprie molecole, e per attrazione su quelle della materia, ammise, che tutti i corpi contengono una quantità determinata di questo fluido allo stato latente: allorquando esso aumenta, i corpi sono elettrizzati *positivamente*, e possedono le proprietà della elettricità vitrea; quando diminuisce, i corpi sono elettrizzati *negativamente*, e presentano la proprietà della elettricità resinosa. La denominazione adunque di *elettricità positiva* o di *fluido positivo*, equivale a quella di *elettricità vitrea*; la denominazione di *elettricità negativa*, o di *fluido negativo*, a quella di *elettricità resinosa*. L'elettricità positiva si rappresenta col segno + (*più*), e l'elettricità negativa col segno — (*meno*); perchè siccome in algebra aggiungendo $+a$ a $-a$ si ha zero, così comunicando ad un corpo che possiede già una certa quantità di elettricità positiva, una quantità eguale di elettricità negativa, si ottiene lo stato neutro.

La teoria di Symmer sui due fluidi elettrici si presta con grande facilità alla spiegazione dei fenomeni: per cui viene generalmente ammessa nelle scuole, almeno in Francia. Ciononpertanto non bisogna dimenticare che questa è soltanto un'ipotesi. D'altronde, fa pur d'uopo

confessare tutto ciò che ha di vago questa denominazione di *fluido* applicata ai principii del calorico, della luce, del magnetismo e dell'elettricità. In fatti, cos'è un fluido? Qual è la sua natura? Nessun fisico ci diede indizi su questo proposito. Bisogna adunque limitarsi a riguardare l'ipotesi dei due fluidi elettrici, come esprimente due stati, nei quali l'elettricità si presenta sotto l'aspetto di due forze uguali e contrarie tendenti ad equilibrarsi. « È probabilissimo, dice De la Rive, nel suo esteso *Trattato di elettricità,* che l'elettricità, invece di consistere in uno o due fluidi speciali, non sia che il risultato di una modificazione particolare nello stato dei corpi; modificazione che dipende probabilmente dalla mutua azione che esercitano le une sulle altre le particelle ponderabili della materia ed il fluido sottile che le circonda da tutte le parti, che chiamasi *etere,* e le cui ondulazioni costituiscono la luce ed il calorico. » — Più oltre, lo stesso fisico aggiunge: « Tutti i fenomeni della elettricità positiva e negativa ponno probabilmente essere spiegati mediante l'azione e la reazione di una forza capace di manifestarsi in differenti gradi nelle diverse sostanze, più semplicemente che per mezzo dell'ipotesi dei fluidi imponderabili. Infatti, le due forze opposte dell'elettricità rassomigliano all'azione ed alla reazione in questo che non vanno mai disgiunte. »

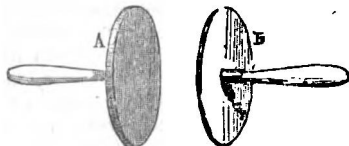
618. **Azioni dei corpi elettrizzati gli uni sugli altri.** — Ammessa l'ipotesi delle due specie di elettricità, gli effetti di attrazione e di ripulsione che presentano i corpi elettrizzati (616) si riassumono nel seguente principio, che serve di base alla teoria di tutti i fenomeni che ci presenta l'elettricità statica:

Due corpi carichi della medesima elettricità si respingono, e due corpi carichi dell'elettricità contraria si attraggono; ma queste attrazioni non hanno luogo che in forza dell'azione delle due elettricità tra loro, e non in forza della loro azione sulle molecole della materia.

619. **Legge dell'elettrizzazione per istrofinamento.** — Allorchè si strofinano insieme due corpi di qualunque natura, il fluido neutro di ciascuno viene decomposto, e sempre *l'uno dei corpi prende il fluido positivo e l'altro il fluido negativo.*

Per dimostrarlo, si comunica al pendolino elettrico una elettricità conosciuta, e gli si presentano separatamente i due corpi strofinati, i quali, nel caso che siano conduttori, devono essere isolati. Per esempio, due dischi, l'uno di vetro levigato, l'altro di metallo o di legno coperto da una rotella di panno (fig. 473). Tenendo questi dischi pei due manici di vetro isolanti ai quali sono fissati, si sfregano vivamente l'uno contro l'altro e si separano in seguito rapidamente. Ora, l'uno dei due attrae la pallina di sambuco, e l'altro la respinge; ciò che mostra che essi sono carichi di elettricità contraria. Di più, sono in quantità eguale; giacchè se si presentano al pendolo mentre sono in contatto, non si osserva nè attrazione nè ripulsione: ciò che prova che le due elettricità si fanno equilibrio.

Fig. 473.

L'elettricità sviluppata su di un corpo col mezzo dello strofinamento varia secondo la natura del corpo strofinato. Il vetro strofinato colla

lana si elettrizza positivamente se è liscio; se smerigliato, si elettrizza negativamente. La specie di elettricità sviluppata dipende altresì dalla natura del corpo che si adopera per istrofinare. Le sostanze qui sotto enunciate si elettrizzano positivamente allorchè vengono strofinate da quelle che le seguono, negativamente allorchè lo sono da quelle che le precedono: pelle di gatto, vetro liscio, lana, piuma, legno, carta, seta, gomma-lacca, resina, vetro smerigliato.

La specie di elettricità che si sviluppa collo strofinamento dipende anche dal grado di levigatezza, dal senso secondo cui avviene lo strofinamento e dalla temperatura. In fatti, se si strofinano l'un contro l'altro due dischi di vetro inegualmente lisci, il più liscio prende l'elettricità positiva, l'altro si elettrizza negativamente. Se si strofinano in croce l'una sull'altra, due fettucce di seta bianca, prese dalla medesima pezza, quella che fu strofinata traversalmente si elettrizza negativamente, l'altra positivamente. Quando si strofinano l'un contro l'altro due corpi della medesima sostanza, la di cui superficie è egualmente liscia, ma la di cui temperatura è differente, la sostanza più calda è quella che prende il fluido negativo. In generale, il corpo le di cui particelle ponno più facilmente spostarsi, è quello che si elettrizza negativamente.

620. **Diverse fonti di elettricità.** — Oltre allo strofinamento, le cause che possono sviluppare l'elettricità sono la pressione, il clivaggio, le azioni chimiche e il calore.

Epino, pel primo, constatò lo sviluppo della elettricità mediante la pressione; Libes, in seguito, dimostrò che premendo leggermente su di un disco di legno ricoperto di taffetà gommato, un disco di metallo isolato per mezzo di un manico di vetro, questo disco si elettrizzava negativamente. Haüy dappoi fece osservare che lo spato d'Islanda si elettrizza positivamente allorquando vien compresso un istante fra le dita, e che il cristallo conserva lo stato elettrico per parecchi giorni. Egli riconobbe la medesima proprietà in parecchie specie di minerali; ma Becquerel ritrovò che essa appartiene a tutti i corpi, ed anche a quelli che sono conduttori, purchè siano isolati. Il sughero e il caoutchouc, compressi l'un contro l'altro, prendono, il primo l'elettricità positiva, il secondo l'elettricità negativa. Un disco di sughero compresso su una melarancia, porta seco una quantità considerevole di fluido positivo, allorchè si interrompe vivamente il contatto; ma se il disco di sughero non vien levato che lentamente, la quantità di elettricità è assai debole; e questo dipende da ciò che i due fluidi, separati su i due corpi dalla pressione, in parte si ricompongono al momento in cui essa cessa. È per questo motivo che l'effetto è nullo quando ambedue le sostanze compresse sono conduttrici dell'elettricità.

Becquerel osservò anche che il *clivaggio*, ossia la divisione naturale delle sostanze minerali cristallizzate, può essere una sorgente di elettricità. Se si divide rapidamente una foglia di mica nell'oscurità, si osserva una debole fosforescenza. Per assicurarsi che il fenomeno è cagionato dall'elettricità, Becquerel fissò, prima della loro separazione, ciascuna lamina ad un manico di vetro; separandole in seguito rapidamente e presentandole al pendolo elettrico o ad un elettroscopio a foglie d'oro (633), ritrovò che esse possedevano una elettricità contraria.

Il talco lamellare e tutte le sostanze cristallizzate, poco conduttrici, si elettrizzano egualmente mediante il clivaggio. In generale, tutte le

volte che si separano due molecole, ciascuna di esse prende una specie di elettricità diversa, a meno che il corpo cui appartengono non sia buon conduttore, perchè allora la separazione non può essere abbastanza rapida per opporsi alla ricomposizione delle due elettricità. Ai fenomeni suddescritti si deve attribuire la luce che spande lo zuccaro quando vien rotto nella oscurità.

L'elettricità che sviluppasi in causa di reazioni chimiche o pel calore sarà studiata più tardi.

CAPITOLO II.

MISURA DELLE FORZE ELETTRICHE

621. **Leggi delle attrazioni e ripulsioni elettriche.** — Le mutue azioni che si esercitano fra i corpi elettrizzati sono soggette alle due leggi seguenti:

1.ª *Le attrazioni e le ripulsioni fra due corpi elettrizzati sono in ragione inversa del quadrato della distanza.*

2.ª *La distanza rimanendo la stessa, queste medesime forze sono in ragione diretta della quantità di elettricità che possiedono i due corpi.*

Prima legge. — Queste due leggi furono dimostrate da Coulomb mediante la bilancia di torsione già adoperata per dimostrare le leggi delle attrazioni e ripulsioni magnetiche (608). Essa si compone di una cassa cilindrica di vetro di circa 30 centimetri di diametro. Sul suo contorno è incollata una listerella di carta che porta una graduazione di 360 gradi. La cassa è chiusa da un piatto di vetro, al centro del quale si innalza un tubo *d* della stessa materia. Questo tubo non è punto fissato invariabilmente al piatto, ma può girare liberamente su sè stesso. Alla sua parte superiore porta un'armatura di ottone munita di un piccolo disco *e* diviso, come la listerella di carta, in 360 gradi, e mobile attorno alla verticale che passa per il suo centro. Su di un pezzo *a*, fissato all'armatura, trovasi un tratto che serve a segnare di quanti gradi si gira il disco. Al centro di quest'ultimo trovasi un piccolo bottone che gira con lui, e il cui piede tiene l'estremità di un filo finissimo, di platino o d'argento, al quale è sospeso un ago di gomma lacca *on*, terminato da un disco di talco *n*. Finalmente, il piatto di vetro è forato da un buco *r* per il quale si introduce nella cassa un tubo di vetro *i*, che porta una sferetta di ottone *m*. Aggiungiamo che la di-

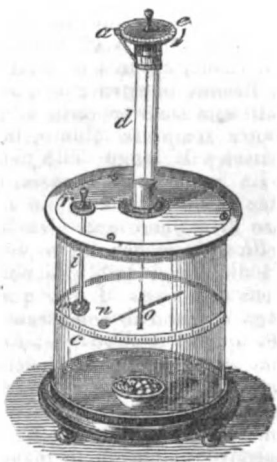



Fig. 474 (a. = 0).

stanza tra questa sferetta e il talco *n* si misura dall'arco graduato *c*, compreso da *m* ad *n*, gli angoli di deviazione che si considerano essendo abbastanza piccoli perchè si possano rimpiazzare le corde coi loro archi.

Ciò posto, per dimostrare la prima legge suenunciata, si incomincia dal disseccare l'aria che trovasi nell'apparecchio, affine di diminuire la dispersione dell'elettricità; ciò che si ottiene ponendo sul fondo della cassa una capsula riempita di calce viva e lasciandovela per vari giorni. Allorchè l'aria è completamente disseccata e che lo zero del disco *e* corrisponde al punto *a*, si gira il tubo *d*, finchè l'ago *on* sia diretto verso lo zero del circolo graduato *c*, posizione alla quale corrisponde la sfera *m*, quando è situata nella cassa. Ritirando allora questa sfera, avendo la cura di tenerla pel tubo isolatore *i*, la si elettrizza ponendola in contatto con una sorgente di elettricità, per es. colla macchina elettrica; indi si pone nuovamente nella cassa. Tosto il disco *n*, elettrizzandosi, pel contatto della sfera, viene respinto, e, dopo varie oscillazioni, si arresta allorquando la torsione del filo fa equilibrio alla forza ripulsiva che si esercita tra il disco e la sfera. Supponiamo che la torsione allora marcata dall'ago, sul quadrante *c*, sia di 20 gradi; siccome la torsione del filo è proporzionale alla forza di torsione (70, 2.°), questo numero 20 può riguardarsi come rappresentante la ripulsione elettrica alla distanza cui si trova l'ago. Per misurare questa forza ad una distanza minore, si gira il disco *e* nel senso della freccia, fino a che la distanza fra la laminetta *n* e la sfera *m* non sia che di 10 gradi, vale a dire due volte minore. Ora, per condur l'ago a questo punto, si trova che bisogna girarlo di 70 gradi. Il filo metallico è adunque torto, alla sua estremità superiore, di 70 gradi nel senso della freccia e di 10 gradi nel senso contrario alla sua parte inferiore. Per conseguenza, le due torsioni si uniscono per dare una torsione totale di 80 gradi, vale a dire quadrupla di quella che corrisponde ad una distanza doppia; d'altronde, la forza di torsione essendo sempre uguale e contraria alla ripulsione, bisogna che questa sia divenuta quattro volte maggiore per una distanza due volte minore. Parimenti si verifica che per una distanza tre volte minore, la ripulsione è nove volte maggiore; ciò che dimostra la legge delle ripulsioni.

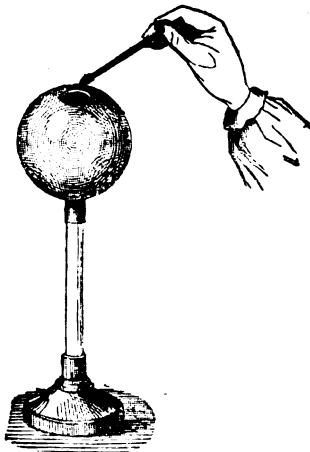
La legge delle attrazioni si può dimostrare coll'egual metodo, con dare alla sfera ed al disco elettricità contrarie, facendo equilibrio alla loro attrazione mercè bastante torsione del filo.

Seconda legge: — Per dimostrare che le forze elettriche sono proporzionali alle quantità di elettricità che possiedono i corpi, si elettrizza ancora la sfera di ottone *m*; indi, notando la ripulsione impressa all'ago *on*, si ritira la sfera *m*, e la si tocca con un'altra sfera di ottone del medesimo diametro, allo stato neutro ed isolata mediante un manico di vetro. La sfera *m* cede allora metà della sua elettricità all'altra, perchè le superficie d'ambo le sfere sono eguali (625). Ora, riponendo la prima nella cassa, si trova che la ripulsione non è che la metà di quella che era prima. Se si leva di nuovo alla sfera *m* la metà dell'elettricità che le resta, la ripulsione non è che un quarto della primitiva, e così di seguito; ciò che dimostra la legge [1].

[1] Harris, in Inghilterra, istituì da parecchi anni numerose esperienze onde verificare le leggi di Coulomb. Il fisico inglese fece uso di un apparato avente qualche analogia colla bilancia di Coulomb, ma che ne differisce perchè l'ago mobile, invece di es-

622. L'elettricità si porta alla superficie dei corpi conduttori. — Allorchè un corpo buon conduttore isolato, di forma qualunque, è elettrizzato, sia positivamente, sia negativamente, il fluido elettrico si porta alla sua superficie, ove forma uno strato di uno spessore assai sottile. Questa accumulazione di tutta l'elettricità alla superficie, si dimostra colle seguenti esperienze, di cui le prime due sono dovute a Coulomb:

Fig. 475 (a. = 38.)

1.ª Si prende una sfera cava di ottone, isolata su di un piede di vetro, ed avente alla sua parte superiore un'apertura circolare (fig. 475). Dopo averla elettrizzata ponendola in contatto con una sorgente elettrica, si tocca successivamente all'interno ed all'esterno con un *piano di prova*. Chiamasi così un bastone di gomma-lacca, all'estremità del quale è fissato un piccolo disco metallico che serve a raccogliere l'elettricità. Ora, toccando esternamente col piano di prova la sfera elettrizzata, Coulomb raccolse dell'elettricità, perchè presentando questo piano all'ago *on* della bilancia di torsione (fig. 474), vi era attrazione. Toccando la superficie interna, Coulomb non osservò alcuna traccia di elettrizzazione; donde egli conchiuse che non vi era elettricità libera che alla superficie esterna della sfera.

sere sospeso ad un solo filo, è sostenuto, come avea già operato Gauss nel suo *magnetometro*, da due fili di seta non torti, paralleli, assai vicini l'uno all'altro e ad egual distanza dal centro di gravità dell'ago; donde il nome di *bilancia bifilare* applicato a questo apparato. Da questo modo di sospensione risulta che allorchè l'ago mobile è respinto od attratto, i due fili, non potendo più conservare la loro posizione verticale, si inclinano più o meno secondo l'intensità della forza che agisce sull'ago, e che, per conseguenza, quest'ultimo si eleva fintanto che siasi stabilito l'equilibrio fra la gravità che tende ad abbassarlo e la forza elettrica che tende a farlo rimontare per effetto della deviazione dei filo. Ora Harris constatò che in tal caso le oscillazioni dell'ago sono isocrone, e che la forza che lo mantiene ad una certa distanza angolare della sua posizione d'equilibrio è proporzionale a questa distanza.

Harris esperimentò anche con una semplice bilancia ordinaria assai sensibile, facendo equilibrio, per mezzo di pesi collocati in uno dei piatti, alle attrazioni elettriche che si esercitavano su di un disco fissato all'altro piatto.

Ora, esperimentando con questi due apparati, Harris trovò che la prima legge di Coulomb, quella dell'inverso del quadrato della distanza, più non si verifica quando i due corpi elettrizzati sono carichi di quantità disuguali di elettricità, quando la tensione elettrica è assai debole, e finalmente quando la distanza angolare fra i due corpi è minore di 9 a 10 gradi. Harris inoltre osservò che anche la seconda legge di Coulomb, quella relativa alla quantità di elettricità, nelle medesime circostanze, più non si verifica.

De la Rive, nell'opera già citata, osserva che queste eccezioni alle leggi di Coulomb sono soltanto apparenti; che esse provengono dall'influenza che i due corpi elettrizzati esercitano l'uno sull'altro, influenza che tende a decomporre il fluido neutro (628), ma che cessa di essere valutabile quando i due corpi sono abbastanza lontani; che finalmente le leggi di Coulomb sono rigorosamente applicabili soltanto a punti matematici, e che esse ponno verificarsi solo per corpi di piccolissime dimensioni.

Questo è confermato anche dalle esperienze di Marié Davy, il quale, avendo ripetute quelle di Harris, riconobbe che la legge delle distanze si verifica assai approssimativamente per due sfere uguali, distanti l'una dall'altra più di 9 a 10 volte il loro raggio.

2.ª Si prende una sfera di ottone isolata su un piede di vetro; su questa sfera si applicano due emisferi cavi, pure di ottone del medesimo diametro della sfera, tali che la possan coprire, e si possano togliere a piacere col mezzo di manici di vetro. Dopo di aver elettrizzata la sfera, le si applicano i due emisferi che si tengono pei manici di vetro, quindi si ritirano rapidamente e simultaneamente (fig. 476). Ora,

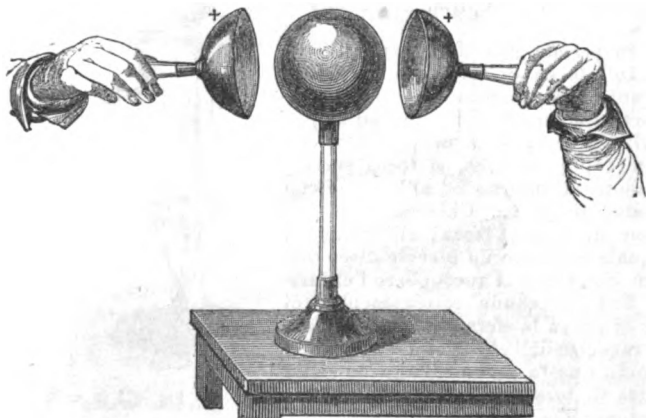



Fig. 476.

si osserva che essi sono allora elettrizzati ambedue, ma che la sfera non ha conservata alcuna traccia di elettricità. Il fluido comunicato alla sfera era adunque tutto alla sua superficie; poichè venne esportato completamente nel medesimo tempo che si tolsero i due inviluppi che la toccavano.

3.ª Si può ancora constatare che l'elettricità si porta alla superficie dei corpi, mediante l'apparato rappresentato dalla figura 477. Esso consiste in un cilindro di ottone isolato, sul quale si avvolge una foglia metallica assai flessibile che si può svolgere ed avvolgere a piacere facendo girare il cilindro a mezzo di una manovella. Infine, su una sfera metallica comunicante col cilindro, avvi un piccolo elettrometro composto di un quadrante d'avorio, al centro del quale si muove una leggera astina terminata da una pallina di sambuco. Ciò posto, comunicando dell'elettricità al cilindro, si vede il piccolo elettrometro divergere in forza di ripulsione elettrica. Ora, se si gira allora il cilindro in modo di svolgere lentamente la foglia metallica che lo ricopre, la divergenza diminuisce; avvolgendola di nuovo, la divergenza aumenta. Si conchiude da ciò che, rimanendo costante la quantità totale di elettricità posseduta da un corpo, la ripulsione esercitata dalla elettricità in ciascun punto della superficie, è tanto minore, quanto più la superficie è maggiore; ciò che dimostra che il fluido elettrico si porta alla superficie.

4.º Una quarta esperienza dovuta a Faraday consiste nel fissare ad un cerchio metallico isolato una piccola bisaccia di mussolina simile a

quelle che si adoperano per prendere le farfalle (fig. 478). Per mezzo di due fili di seta attaccati all'interno ed all'esterno al vertice del cono

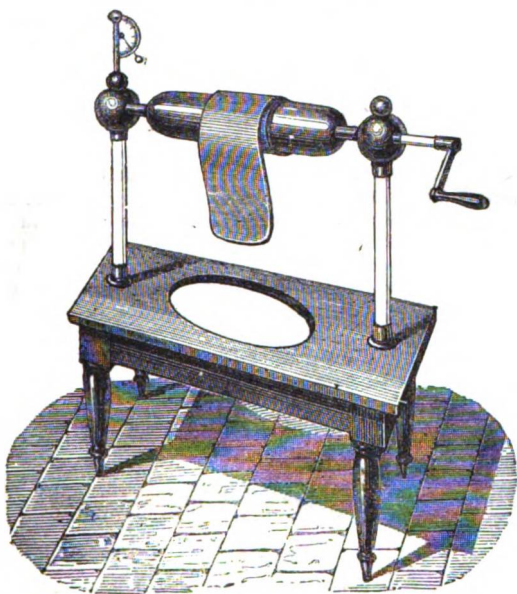
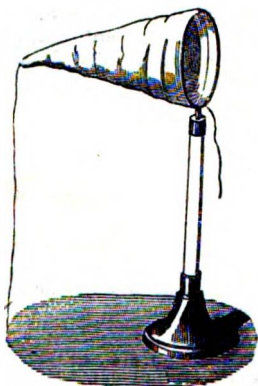



Fig. 477.

si può rovesciarlo ad arbitrio. Ciò posto si elettrizza la mussolina toccandola con un corpo elettrizzato, poi tirando a sè il filo interno si rovescia la bisaccia in modo che la sua superficie interna divenga esterna, e viceversa; allora si riconosce che trovasi ancora elettrizzata la sola superficie esterna.

5.° Finalmente, l'esperienza dimostra che una sfera di metallo massiccia non acquista maggior elettricità d'una sfera di legno del medesimo diametro, ricoperta da una foglia di metallo assai sottile.

Fig. 478.

La proprietà che ha l'elettricità di accumularsi alla superficie dei corpi, è riguardata come una conseguenza della forza ripulsiva che ciascun fluido esercita sopra sè stesso. Infatti, sottomettendo al calcolo l'ipotesi dei due fluidi, ed ammettendo che essi si attraggano vicendevolmente in ragione inversa dei quadrati delle distanze, e che respingono le loro proprie molecole seguendo la medesima legge, Poisson giunse alla medesima conseguenza di Coulomb

sulla distribuzione della elettricità dei corpi. Siamo adunque condotti a considerare l'elettricità libera come accumulata sotto forma di uno strato assai sottile alla superficie dei corpi elettrizzati, da cui ella tende sempre a sfuggire, non essendovi trattenuta che dalla resistenza che le presenta la poca conducibilità dell'aria (1).

Lo sforzo che fa l'elettricità per liberarsi dai corpi si chiama *tensione;* si vedranno in seguito le cause che la fanno variare.

623. **Influenza della forma dei corpi sull'accumulazione dell' elettricità.** — Sopra una sfera metallica, lo spessore dello strato elettrico è lo stesso su tutti i punti della superficie. È evidente infatti, che deve essere così a cagione della forma simmetrica del corpo. Ciò si verifica col mezzo del piano di prova e della bilancia di torsione (fig. 474). A tale intento si elettrizza una sfera isolata simile a quella che rappresenta la fig. 476, e toccandola successivamente in differenti punti col piano di prova, si presenta quest' ultimo ciascuna volta all' ago della bilancia. Si osserva costantemente la medesima torsione, ciò che dimostra che dovunque il piano di prova ha raccolta la medesima quantità di elettricità.

Se il corpo elettrizzato è un elissoide allungato (fig. 479), lo spessore dello strato elettrico cessa di essere uniforme; il fluido elettrico,

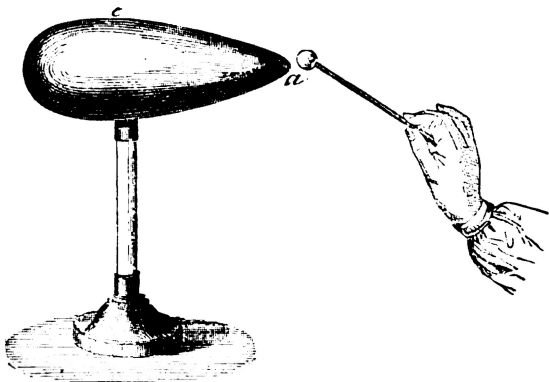



Fig. 479 (a. = 40).

obbedendo sempre alla sua propria ripulsione si accumula verso le parti più acute, sulle quali l'elettricità acquista così un massimo di spessore.

(1) « Secondo Faraday, la tendenza dell'elettricità a portarsi alla superficie dei corpi conduttori è più apparente che reale, e le esperienze per mezzo delle quali si riconosce che vi è elettricità libera soltanto alla loro superficie si spiegano facilmente in un altro modo. Secondo la sua teoria nessuna carica elettrica può manifestarsi nell'interno di un corpo a motivo delle direzioni opposte dell'elettricità in ciascuna delle particelle interne, donde risulta un effetto nullo; mentre l' induzione (628) esercitata dai corpi esterni rende sensibile l'elettricità alla superficie. Secondo questa teoria l'elettricità deve mostrarsi soltanto alla superficie di un inviluppo conduttore, qualunque sia la conducibilità o la facoltà isolante delle sostanze collocatevi nell'interno, e questo appunto venne dimostrato da Faraday elettrizzando fortemente l' olio essenziale di trementina situato in un vaso di metallo; giacchè anche allora eravi elettricità apparente soltanto alla superficie del vaso. Lo stesso Faraday costrusse anche una camera cubica avente per lato

Per dimostrarlo, si tocca l'elissoide in differenti punti col piano di prova, e portandolo nella bilancia di Coulomb, si riconosce che il massimo di torsione si produce allorchè si tocca l'estremità *a* dell'elissoide, ed il minimo allorchè il piano di prova ha toccato la regione media *e*. Qualunque sia la forma di un corpo elettrizzato, l'analisi matematica mostra che in ciascun punto della superficie, la tensione (622) è proporzionale al quadrato della grossezza dello strato elettrico; e che nel caso di un elissoide perfetta, la grossezza di questo strato, alle estremità degli assi, è proporzionale alla loro lunghezza. Nel caso di un disco circolare, è sui lembi che si accumula il fluido elettrico.

624 **Potere delle punte.** — Si dice *potere delle punte*, sui corpi conduttori, la proprietà che esse possiedono di lasciar sfuggire il fluido elettrico. Questa proprietà, scoperta da Franklin, si spiega colla legge della distribuzione di questo fluido alla superficie dei corpi. Infatti, l'elettricità accumulandosi verso le parti acute (623), lo spessore elettrico cresce verso le punte, e la tensione, crescendo nel medesimo tempo, la vince ben presto sulla resistenza dell'aria; allora il fluido si disperde nell'atmosfera. Se si accosta la mano alla punta, si sente come un leggero soffio che sembra uscire dalla stessa, e, quando la dispersione dell'elettricità ha luogo nella oscurità, si osserva sulla punta una piccola piuma luminosa.

625. **Comunicazione e distribuzione della elettricità sui corpi in contatto.** — Allorchè si pongono in contatto due corpi conduttori, l'uno elettrizzato e l'altro allo stato naturale, succede che l'elettricità si divide fra i due corpi in un rapporto che dipende da quello delle loro superficie; ed allorchè si separano, l'uno ha guadagnato elettricità, l'altro ne ha perduta su tutti i suoi punti. Se non sono conduttori, vi è perdita o guadagno sui soli ponti in contatto.

Col mezzo del piano di prova e della bilancia di torsione, Coulomb fece numerose esperienze sulla distribuzione dell'elettricità alla superficie dei corpi in contatto. Mediante sfere metalliche isolate, poste a contatto, ed elettrizzate in questo stato, trovò che il fluido elettrico si distribuisce diversamente sulle loro superficie, secondo i rapporti dei diametri. Se questi sono eguali, lo spessore elettrico è nullo al punto di contatto, non divien sensibile che a 20 gradi, da questo punto, cresce rapidamente dai 20 ai 30 gradi, più lentamente dai 60 ai 90, e resta presso a poco il medesimo dai 90 ai 180 gradi.

Allorchè i diametri sono disuguali nel rapporto da 2 a 1, lo spessore elettrico, che è ancor nullo al punto di contatto, è dapprima più considerevole sulla sfera grande; ma esso aumenta in seguito più rapidamente sulla piccola, ed a 180 gradi dal punto di contatto, su quest'ultima, ha luogo il massimo spessore.

626. **Dispersione dell'elettricità nell'aria.** — I corpi elettrizzati, quantunque isolati, perdono sempre più o meno rapidamente la loro elettri-

un metro, le cui pareti di legno erano esternamente ricoperte di foglie di piombo; dopo averla isolata ed avervi collocati degli elettroscopii elettrizzò l'aria interna con una forte macchina elettrica. Nessuna traccia di elettricità si manifestò nell'interno, mentre forti scintille e piume luminose partivano da tutta la superficie esterna.

« Queste esperienze, completando quelle di Coulomb, nelle quali si trattava soltanto di corpi conduttori, rendono poco probabile la spiegazione datane, stante che essa era basata sulla libera propagazione dell'elettricità nella massa conduttrice, donde risultava che questa elettricità portavasi tutta alla superficie. Siccome il fenomeno accade del pari collocando nell'interno alcuni corpi isolanti, questa spiegazione non è più sostenibile. »
(De La Rive, *Traité d'électricité*, t. I, p. 143.)

cità. Questa dispersione dipende da due cause: 1° dalla conducibilità dell'aria e dei vapori che avviluppano i corpi; 2.° dalla conducibilità degli isolatori che lor servono di sostegni.

La dispersione nell'aria varia a seconda della tensione elettrica, del rinnovamento dell'aria e del suo stato igrometrico. L'aria secca conduce male l'elettricità: ma se essa è umida, diviene conduttrice, e tanto più è conduttrice quanto maggiore è la quantità di vapore che contiene. Coulomb dimostrò che, *in un'aria calma, e ad uno stato igrometrico costante, la dispersione in un tempo brevissimo è proporzionale alla tensione:* legge analoga a quella di Newton sul raffreddamento (377).

Coulomb aveva esperimentato in un'aria umida; ma Matteucci trovò che nei gas perfettamente secchi, la dispersione dell' elettricità non segue la legge di Coulomb e che, entro certi limiti di tensione, la perdita è indipendente dalla quantità di elettricità e proporzionale ai tempi; cioè che in tempi uguali, le perdite successive sono eguali.

Secondo lo stesso fisico, a temperatura e pressione uguali, la perdita nell'aria, nell'idrogeno e nell'acido carbonico perfettamente secchi, è uguale; per corpi fortemente elettrizzati, la dispersione è maggiore quando sono elettrizzati negativamente che non allorchè sono elettrizzati positivamente; nei gas secchi, a pressione costante, la dispersione aumenta colla temperatura; finalmente, sempre nei gas secchi, la perdita è indipendente dalla natura dei corpi elettrizzati, cioè è la stessa, sieno questi corpi conduttori od isolanti.

Quanto alla perdita per mezzo di sostegni, non solo questi non isolano giammai completamente, ma Coulomb trovò che essi sono la sorgente di un'abbondante dispersione pei corpi fortemente elettrizzati. Questa dispersione diminuisce gradatamente e diviene costante allorchè la tensione elettrica è assai debole. Allora si può anche trascurarla, purchè si dia agli isolatori una lunghezza sufficiente: lunghezza che secondo Coulomb deve aumentare proporzionatamente al quadrato della tensione elettrica del corpo che si vuol isolare. La gomma-lacca isola allora presso a poco completamente; ma il vetro, che è igrometrico, deve essere disseccato con cura.

627. **Dispersione dell'elettricità nel vuoto.** — Essendo l'elettricità trattenuta alla superficie dei corpi per la cattiva conducibilità dell'aria, quando questa si rarefà, la dispersione aumenta; e nel vuoto, ove la resistenza è nulla, tutta l'elettricità si disperde. Questa almeno è la conseguenza a cui conduce la teoria matematica relativa all'equilibrio dell'elettricità sulla superficie dei corpi; ma Hauksbee, Gray, Harris e Becquerel, hanno dimostrato che deboli tensioni elettriche possono mantenersi nel vuoto. Becquerel ha pure osservato che nel vuoto ad un millimetro (174), un corpo conservava ancora elettricità dopo 15 giorni; e questo dotto ammette che se un corpo elettrizzato si trovasse nel vuoto perfetto, lontano da tutte le materie che possono esercitare su di esso un'azione per influenza (628), conserverebbe indefinitamente una certa tensione elettrica.

CAPITOLO III.

AZIONE DEI CORPI ELETTRIZZATI SUI CORPI ALLO STATO NEUTRO; MACCHINE ELETTRICHE

623. **Elettrizzazione per influenza o per induzione.** — Un corpo elettrizzato agisce su di un corpo allo stato neutro, nel medesimo modo che una calamita agisce sul ferro dolce (587); vale a dire che, decomponendo il fluido neutro, attrae l'elettricità di nome contrario a quella che possiede e respinge quella del medesimo nome. Per esprimere questo effetto, che è una conseguenza dell'azione vicendevole delle due elettricità, si dice che il corpo che dapprima era allo stato neutro, è *elettrizzato per influenza o per induzione.*

Si dimostra l'elettrizzazione per influenza mediante un cilindro di ottone, isolato sopra un piede di vetro, e portante alle sue estremità due pendolini elettrici, formati di palle di sambuco sospese a fili di canape che sono conduttori (fig. 480). Ponendo questo cilindro alla distanza di qualche centimetro da uno dei conduttori *m* della macchina

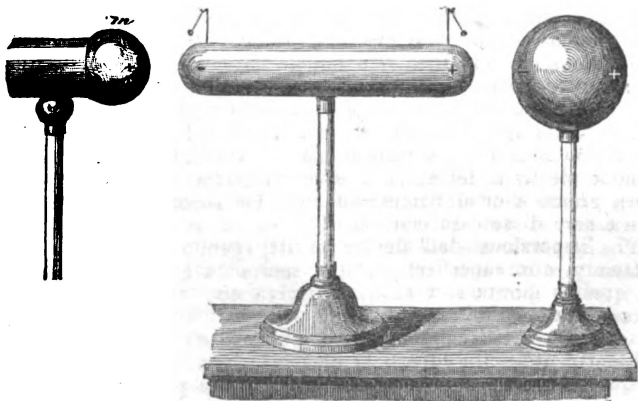



Fig. 480 (a. = 30).

elettrica, quest'ultimo che, come vedremo in seguito, è carico di fluido positivo, agendo per influenza sul fluido neutro del cilindro, lo decompone, attrae il fluido negativo e respinge il positivo; di modo che i fluidi, distribuendosi allora come lo indicano i segni + e — marcati nel disegno, ciascun pendolo si trova respinto.

Per riconoscere la specie di elettricità di cui sono cariche le estremità del cilindro, si strofina un bastone di cera-lacca, e presentandolo al pendolino più vicino alla macchina elettrica, si osserva una ripulsione, ciò che dimostra che questo pendolo è carico della medesima

elettricità della resina, vale a dire di fluido negativo. Presentando parimenti al secondo pendolino un tubo di vetro sfregato, avvi egualmente ripulsione; adunque il pendolo è elettrizzato positivamente. Per conseguenza, un corpo elettrizzato per influenza possiede nel medesimo tempo, sopra due punti opposti, le due specie di elettricità allo stato libero. Fra queste parti elettrizzate in senso contrario, si trova necessariamente una zona allo stato neutro. Questo si verifica disponendo vari pendolini a palle di sambuco lungo il cilindro: la loro divergenza diminuisce rapidamente allontanandosi dalle estremità, e diviene nulla in un certo punto che è il *punto neutro*. Questo punto non trovasi mai in mezzo al cilindro; la sua posizione dipende dalla quantità di elettricità e dalla distanza del cilindro dal corpo che agisce su lui per influenza; ma è sempre più presso all'estremità che trovasi situata più vicino a questo corpo.

Un corpo elettrizzato per influenza agisce alla sua volta sui corpi vicini per separare i loro due fluidi, come lo si vede sulla sfera rappresentata in seguito al cilindro, secondo la disposizione relativa dei segni + e —.

Tutti i corpi elettrizzati per influenza presentano i due seguenti fenomeni: 1.° *appena che l'influenza cessa, i due fluidi si ricompongono, ed il corpo non conserva alcuna traccia di elettricità.* Questo principio si verifica col cilindro della figura 480, perchè i pendolini ricadono tostochè si allontana la sorgente elettrica, o che la si riduce allo stato neutro toccandola col dito. 2.° Allorchè un corpo conduttore è elettrizzato per influenza, se lo si tocca, *sopra uno de' suoi punti qualunque*, sia con un'astina metallica, sia con un dito, *è sempre il fluido del medesimo nome di quello della sorgente elettrica quello che si disperde nel suolo*, *essendo il fluido di nome contrario trattenuto per l'attrazione del fluido della sorgente.* Per es., nel cilindro della figura 480, è sempre il fluido negativo che rimane, sia che si tocchi l'estremità positiva, sia che si tocchi la negativa o la parte media.

È per effetto dell'elettrizzazione per influenza, che una macchina elettrica non si può caricare se si trova in vicinanza ad una punta metallica comunicante col suolo; infatti, agendo il fluido positivo della macchina per influenza sulla punta, scorre da quest'ultima parte (624) una corrente continua di fluido negativo che neutralizza l'elettricità della macchina.

Gli effetti per influenza che furono or ora studiati non si applicano che ai corpi buoni conduttori. Infatti, sui cattivi conduttori, l'azione per influenza è nulla, o almeno debolissima, e non può prodursi che lentamente e in presenza di una sorgente elettrica assai potente, per ragione della grande resistenza che incontra in tal caso la elettricità a muoversi.

Per la stessa causa quando un corpo cattivo conduttore è elettrizzato per influenza, esso lo è ancora alquanto tempo dopo che l'azione influente è stata rimossa.

629. **Limite all'eletrizzazione per influenza.** — L'azione per influenza che esercita un corpo elettrizzato su un corpo vicino per decomporre il suo fluido neutro è limitato. Infatti, sulla superficie del cilindro isolato sottoposto all'influenza della macchina elettrica che si è considerato di sopra, sia in *n* una quantità assai piccola, quanto si voglia di fluido neutro (fig. 481). L'elettricità positiva della sorgente *m* agisce sola dapprima per decomporre per influenza il fluido neutro che è in *n*,

attrare in A il suo fluido negativo e respingere in B il suo fluido positivo; ma a misura che l'estremità A si carica di elettricità negativa,

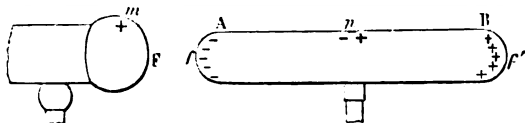



Fig. 481.

e l'estremità B di elettricità positiva, si svolgono in A e in B due forze f e f' agenti su di n in senso contrario della sorgente. Infatti le forze f e f', l'una per attrazione, l'altra per ripulsione, concorrono per richiamare in B il fluido negativo di n e in A il suo fluido positivo. Ora, la forza influente F che si esercita in m, essendo costante, mentre le forze f ed f' sono crescenti, giunge necessariamente un momento in cui l'equilibrio si stabilisce tra la forza F e le sue forze f e f'. Allora cessa qualunque decomposizione del fluido neutro, e l'azione influente ha raggiunto il suo limite.

Se si allontana il cilindro dalla sorgente elettrica, l'azione per influenza decrescendo, una porzione dei fluidi liberi in A e in B si ricombina per formare del fluido neutro. Al contrario se si avvicina, la forza F, vincendola sulle forze f e f', si produce una nuova decomposizione del fluido neutro, e maggiori quantità di fluido positivo e di fluido negativo si accumulano rispettivamente in A e in B.

630. **Teoria di Faraday sull'elettrizzazione per influenza.** — La teoria dell'elettrizzazione per influenza, quale noi l'abbiam fatta conoscere, è quella finora ammessa da tutti i fisici; ma alcuni recenti lavori di Faraday sulla polarità elettrica tendono a modificarla, e fors'anche a rovesciarla totalmente. Infatti, sinora nei fenomeni che abbiamo considerati, non si tenne conto del mezzo che separa il corpo elettrizzato da quello sul quale agisce per influenza. Ora, le nuove esperienze di Faraday conducono piuttosto ad ammettere che è appunto per l'intermissione di questo mezzo che si operano tutti i fenomeni per influenza, e non per un'azione a distanza, o per lo meno ad una distanza che non eccede l'intervallo fra due molecole adiacenti. Faraday ammette che allora si produce, nel mezzo intermediario, una serie di strati molecolari alternativamente negativi e positivi, che costituiscono ciò che egli chiama la *polarizzazione* di questo mezzo. Sarebbe adunque, secondo la nuova teoria, alla polarizzazione delle molecole dell'aria, o di un altro mezzo, che si dovrebbe l'azione che sembrano esercitare a distanza i corpi elettrizzati sui corpi allo stato neutro, invece che, nella teoria finora ammessa, l'aria non rappresenta che una parte passiva e, per la sua inconducibilità, non fa che opporsi alla ricomposizione delle elettricità contrarie. In breve, la nuova teoria tende a sopprimere l'azione a distanza, per sostituirvi l'azione continua e costante d'un mezzo, d'una materia intermedia, propria a trasmettere l'azione di un corpo ad un altro (1).

(1) « La teoria di Faraday, dice De la Rive, quantunque abbia ancora bisogno di essere studiata, pure merita già di fermare l'attenzione dei fisici. Sembra che essa si appoggi ad un giusto principio, quello cioè che le azioni elettriche si manifestano soltanto per l'intermediario di particelle materiali; essa tende ad operare un notevole avvicina-

Chiamando *potere induttore* la proprietà che hanno i corpi di trasmettere attraverso le loro masse l'influenza elettrica, Faraday trova che non tutti i corpi isolanti hanno il medesimo potere induttore. Per confrontare i poteri induttori delle differenti sostanze, egli fece uso dell'apparato rappresentato dalla figura 483, e di cui la figura 482 rappresenta una sezione verticale. Questo apparato si compone di un inviluppo sferico PQ, formato di due emisferi di ottone che si separano

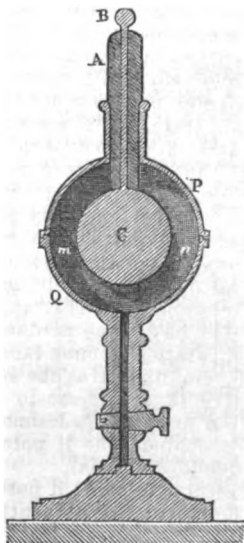



Fig. 482.

Fig. 483.

come quelli di Magdebourg (fig. 81, pag. 94), e che, come quelli, si adattano agli orli in modo di chiudere ermeticamente. Nell'interno di questo inviluppo avvi una sfera di ottone C, d'un diametro minore di quello dell'inviluppo, e che comunica con una palla esterna B, mediante un'asta metallica, isolata dall'inviluppo PQ per mezzo di un grosso strato di gomma-lacca A. Lo spazio *mn* è destinato a ricevere la sostanza di cui si vuol misurare il potere induttore. Infine, il piede dell'apparato porta un canale a robinetto, che si può unire a vite sulla macchina pneumatica allorchè si vuole rarefare l'aria situata nello spazio *mn*.

Ciò posto, si hanno due apparati simili a quello da noi descritto, identici fra loro, ed ambedue non contenenti dapprima nello spazio *mn* che aria; fatti comunicare gli inviluppi PQ col suolo, si pone la palla B di uno degli apparati in comunicazione con una sorgente elettrica. La sfera C si carica allora come l'armatura interna della bottiglia di Leyda,

mento tra le forze elettriche e le altre forze della natura. Finalmente, dalle esperienze di Faraday, risulta già un fatto importante per la scienza, quale si è quello della polarizzazione molecolare nei corpi isolanti, modo probabile di propagazione dell'elettricità nei corpi egualmente conduttori. »

servendo lo strato d'aria *mn* di corpo isolatore che separa le due armature. Una volta caricato l'apparecchio, si misura la tensione dell'elettricità rimasta libera sulla sfera C, toccando la palla B con un piano di prova, e portandolo nella bilancia di Coulomb. Nella sua esperienza, Faraday ottenne in questo modo una torsione di 250° che rappresentava la tensione sulla sfera C. Ponendo infine la palla B dell'apparecchio così caricato in comunicazione colla palla B del secondo apparato non ancora carico, si trova, col mezzo del piano di prova e della bilancia di torsione, che la tensione sulle due sfere C è sensibilmente 125, vale a dire che l'elettricità si è egualmente distribuita nei due apparati; ciò che si poteva prevedere anche dapprima, poichè sono ambedue identici ed ambedue contengono solo aria nell'intervallo *mn*.

Eseguita questa prima esperienza, la si ripete, ma riempiendo preventivamente l'intervallo *mn*, nel secondo apparato, della sostanza di cui si vuol studiare il potere induttore, poniamo di gomma-lacca. Dopo, caricato l'altro apparato, quello cioè in cui l'intervallo *mn* è pieno di aria, si misura la tensione sulla palla C; supponiamo che sia 290, numero trovato da Faraday. Ora, se attualmente si fa comunicare la palla B dell'apparato carico colla palla B dell'apparato in cui evvi la gomma-lacca, non si trova più, come sopra, che ciascun apparato possiede la metà di 290, ossia 145. Infatti, l'apparato ad aria, segna solo una tensione di 114, e quello a gomma-lacca una tensione di 113. L'apparato ad aria, che aveva 290 e non ne ha più che 114, ha dunque perduto 176; per conseguenza, si dovrebbe trovare, sull'apparato a gomma-lacca, 176 invece di 113. Non trovandosene che 113, ciò dimostra che è stata neutralizzata una maggior quantità di elettricità attraverso lo strato di gomma-lacca, che non attraverso lo strato d'aria del medesimo spessore nella prima esperienza; da questo si conchiude che il potere induttore della gomma-lacca è maggiore di quello dell'aria.

Operando come sopra, si trova che rappresentando con 1 il potere induttore dell'aria, i poteri induttori relativi delle sostanze seguenti sono:

Aria	1,...
Flint	1.76
Resina	1.77
Pece	1.80
Cera gialla	1,86
Vetro	1,90
Gomma-lacca	2,..
Solfo	2,24

Riguardo ai gas, Faraday ha trovato che essi hanno tutti sensibilmente il medesimo potere induttore, e che questo potere non è modificato nè dalla temperatura, nè dalla pressione del gas.

Faraday, attesa la capacità induttrice che posseggono i corpi isolanti, diede loro il nome di *dielettrici*, per opposizione ai corpi conduttori che non fruiscono della stessa proprietà. Lo stesso fisico, avendo fatto studi profondi sulla parte che hanno i corpi dielettrici nell'induzione, giunse a questi due risultati:

1.° *Che non avvi induzione attraverso ai corpi conduttori quando questi sono in comunicazione col suolo.*

2.° *Che l'induzione di un corpo sopra un altro può esercitarsi in linea curva, quando fra i due corpi se ne trovi interposto uno dielettrico.*

Questi principii non sono ammessi da tutti i fisici, ed inoltre bisogna riconoscere che le esperienze da cui Faraday li dedusse ponno ricevere una spiegazione diversa da quella datavi da questo fisico.

Matteucci, che ha studiato anch'egli con diligenza l'induzione dei corpi elettrizzati sopra i corpi cattivi conduttori, giunse recentemente a mettere fuor di dubbio la polarizzazione elettrica molecolare; egli ha provato, inoltre, che il potere isolante di una sostanza è tanto più grande quanto la sua polarizzazione molecolare è più debole.

Risulta dunque dai lavori di Faraday e Matteucci che i corpi cattivi conduttori possono trasmettere lentamente l'elettricità non solo per la loro superficie, ma anche per la loro massa. Quando, per es., si lascia per qualche tempo un bastone di resina a contatto di una macchina elettrica carica, rimarcasi che esso è elettrizzato positivamente su di una estensione più o meno grande. Strofinandolo allora con lana, esso si elettrizza negativamente, indi poco a poco passa allo stato neutro, e finalmente ricompare l'elettricità positiva; il qual fenomeno risulta da ciò che avendo l'elettricità della macchina polarizzato le molecole sino ad una certa profondità, queste reagendo, in seguito, sulla superficie, la riconducono dapprima allo stato neutro, poscia allo stato positivo.

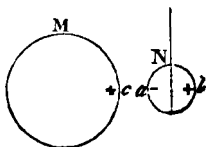
631. **Comunicazione dell'elettricità a distanza.** — Nell'esperienza rappresentata dalla figura 480, le elettricità contrarie del conduttore *m* e del cilindro isolato, tendono a riunirsi, e non sono mantenute alla superficie di questi due corpi che dalla resistenza dell'aria; ma se la resistenza diminuisce, o la tensione aumenta, la forza attrattiva delle due elettricità vince l'ostacolo che le separa, ed allora si ricompongono attraverso l'aria producendo una scintilla più o meno viva, accompagnata da un rumore secco. Essendo così l'elettricità negativa del cilindro neutralizzata dall'elettricità positiva che gli cedette la macchina, sul primo rimane soltanto elettricità positiva che esso conserva, benchè cessi l'influenza.

Lo stesso fenomeno ha luogo allorchè si presenta il dito ad un corpo fortemente elettrizzato. Questo decompone per influenza l'elettricità naturale della mano, attrae con scintilla il fluido contrario e respinge nel suolo il fluido del medesimo nome.

Quanto alla distanza dell'esplosione, essa varia secondo la tensione del fluido elettrico, la forma dei corpi, la loro forza conduttrice, e la maggiore o minor resistenza dei mezzi che li circondano.

632. **Movimenti dei corpi elettrizzati.** — La teoria dell'elettrizzazione per influenza dà la spiegazione dei movimenti di attrazione e di ripulsione reciproca che presentano i corpi elettrizzati. Infatti, dato un corpo fisso M (fig. 481), che noi supporremo elettrizzato positivamente, ed un corpo mobile N, posto ad una piccola distanza dal primo, si possono considerare tre casi:

Fig. 481.

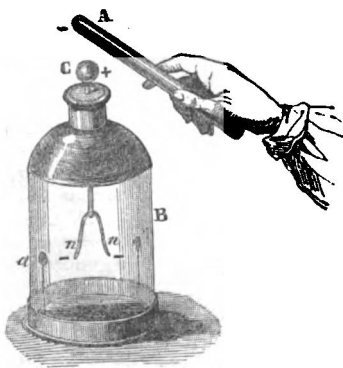
1.° *Che il corpo mobile sia allo stato naturale e conduttore.* — In questo caso, il corpo M, agendo per influenza sul fluido neutro del corpo N, attrae il fluido negativo e respinge il fluido positivo, di modo che il massimo di tensione dei due fluidi ha luogo rispettivamente ai punti *a* e *b*. Ora, esercitandosi le attrazioni e le ripulsioni elettriche in ragione inversa del quadrato della distanza, l'attrazione fra i due punti *a* e *c* supera la ripulsione tra i due punti *b* e *c*, ed il corpo mobile si accosta al corpo fisso per effetto di una risultante uguale all'eccesso della forza attrattiva sulla forza ripulsiva.

2.° *Che il corpo mobile sia elettrizzato e conduttore.* — Se il corpo mobile è carico di elettricità contraria a quella del corpo M, avvi ancora attrazione; se è carico della medesima elettricità, vi è ripulsione per una certa distanza, ma più vicino vi può essere attrazione senza che vi sia stato contatto. Per ispiegare questa anomalia, basta osservare che il corpo mobile, oltre il fluido libero che contiene, contiene altresì del fluido naturale, e che venendo questo decomposto per l'influenza del fluido positivo del corpo M, l'emisfero *b* riceve una nuova quantità di fluido positivo, intanto che l'emisfero *a* si carica di fluido negativo; avvi adunque, come nel caso precedente, attrazione e ripulsione. La seconda forza supera da principio la prima, perchè la quantità di fluido positivo sul corpo N è maggiore della quantità di fluido negativo; ma, diminuendo l'intervallo *ac*, la forza attrattiva cresce più presto che la forza ripulsiva, e può finire col superar quella.

3.° *Che il corpo mobile sia cattivo conduttore.* — Se il corpo mobile è cattivo conduttore ed elettrizzato, viene respinto od attratto secondochè è o no carico della stessa elettricità del corpo fisso. Se è allo stato naturale, siccome una forte sorgente elettrica la cui azione sia prolungata, può sempre, anche nei corpi peggiori conduttori, decomporre più o meno il fluido naturale; quest'ultimo viene infatti decomposto sotto l'influenza del corpo M, purchè quest'ultimo sia sufficientemente elettrizzato, ed allora vi è attrazione.

633. **Elettroscopio a foglie d'oro.** — Si chiamano *elettroscopii* o *elettrometri* alcuni piccoli apparati che servono a riconoscere se un corpo sia elettrizzato e qual sia la natura della sua elettricità. Il pendolino elettrico già descritto (613) è un elettroscopio. Di tali apparati se ne immaginarono vari; noi per ora non descriveremo che l'elettroscopio a foglie d'oro, ma più tardi faremo conoscere un altro apparecchio di questo genere assai più sensibile, qual è l'*elettrometro condensatore* di Volta (654).

L'*elettroscopio a foglie d'oro* o *elettrometro di Bennet* consiste in una boccia B di vetro (fig. 485), giacente su di un piatto di ottone, ed il cui collo è chiuso da un turacciolo ricoperto di una vernice isolante, della quale è pur ricoperta tutta la parte superiore della boccia. Nel turacciolo passa un'astina di ottone, terminata esternamente da una palla C del medesimo metallo ed internamente da due piccole foglie d'oro battuto *n* assai leggiere.

Fig. 485 (a. = 21).

Allorchè si accosta a quest'apparato un corpo carico di una elettricità qualunque, per es. negativa, come lo indica il disegno, quest'elettricità agendo per influenza sul fluido neutro della palla e dell'astina, il fluido positivo viene attratto dalla palla, ed il fluido negativo respinto verso le foglie d'oro. In tal modo trovandosi queste cariche della medesima elettricità si respingono, ed è ciò appunto che dimostra che il corpo A, presentato all'apparato, è elettrizzato.

Se si ignora la specie di elettricità di cui è carico il corpo presentato all' elettroscopio, è facile il riconoscerla. Per ciò fare, intanto che l' istrumento è sotto l' influenza del corpo A, si tocca la palla C col dito. Allora l' elettricità dello stesso nome di quella di cui è carico il corpo A viene respinta nel suolo, e tanto la palla che l' astina rimangono cariche dell' elettricità *contraria* a quella del corpo (628). Le foglie d' oro ricadono dapprima; ma ritirando il dito ed in seguito il corpo A, esse divergono di nuovo. Per constatare allora la specie di elettricità che conserva l' apparato, si avvicina lentamente alla palla C un bastone di vetro strofinato con lana: se la divergenza delle foglie d' oro aumenta, ciò indica che la elettricità dell' elettroscopio è respinta alla parte inferiore, dal che si conchiude che essa è della medesima specie di quella del vetro, ossia positiva. Se la divergenza diminuisce, ciò dipende dall' essere l' elettricità dell' apparato attratta da quella del vetro; sarà adunque di nome contrario, ossia negativo.

Sulle pareti interne della boccia sono collocate due liste di stagno *a* opposte l' una all' altra; esse hanno per iscopo di aumentare la sensibilità dell' elettroscopio, caricandosi per influenza di fluido contrario a quello delle foglie d' oro.

MACCHINE ELETTRICHE

634. **Elettroforo.** — Si chiamano *macchine elettriche* quegli apparati che servono ad ottenere un maggiore o minore sviluppo di elettricità statica. La macchina elettrica più semplice è l'*elettroforo*. Questo apparato, inventato da Volta, si compone di un disco di resina B (fig. 487),

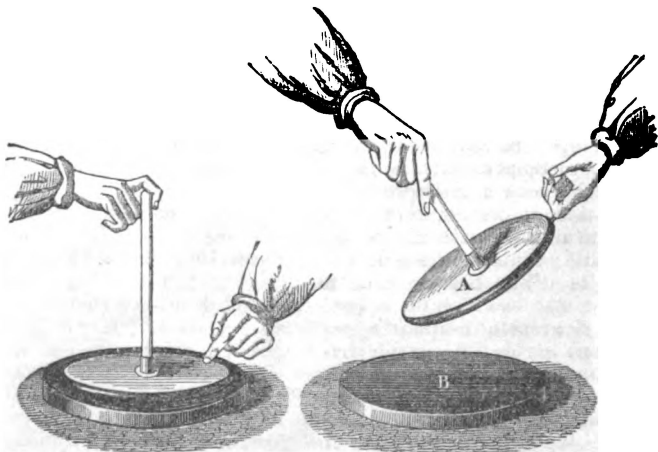



Fig. 486. Fig. 487

applicato ad un piatto di legno, e di un disco pure di legno A, ricoperto di una foglia di stagno e munito di un manico isolante di vetro.

Per ottenere l'elettricità col mezzo di quest'apparato si comincia dal disseccare il piatto di resina ed il disco di legno riscaldandoli dolcemente, quindi si batte fortemente la resina con una pelle di gatto, che la elettrizza negativamente. Appoggiando allora il disco di legno ricoperto di stagno sulla resina (fig. 486), questa che è conduttore assai cattivo, conserva la sua elettricità negativa e, per la sua influenza sul disco, attrae il fluido positivo verso la faccia che con essa è a contatto, intanto che respinge sull'altra il fluido negativo. Toccando adunque la foglia di stagno col dito, il fluido negativo viene sottratto ed il disco resta elettrizzato positivamente. Infatti, se con una mano lo si alza pel manico di vetro e gli si presenta l'altra mano (fig. 487), scocca una viva scintilla dovuta alla ricomposizione del fluido positivo del disco col fluido negativo della mano.

In un'aria secca, il piatto di resina dell'elettroforo, una volta elettrizzato, può conservare la propria elettricità per parecchi mesi, e durante tutto questo tempo si ponno ottenere tante scintille quante se ne vogliono senza battere di nuovo la resina colla pelle di gatto; basta che si abbia la cura ciascuna volta di toccare prima il disco ricoperto di stagno, intanto che è in contatto colla resina, indi una seconda volta quando lo si tiene pel manico di vetro.

L'elettroforo serve in chimica per far detuonare nell'eudiometro alcune mescolanze gasose mediante la scintilla elettrica.

635. **Macchina elettrica di Ramsden.** — La prima macchina elettrica è dovuta ad Ottone de Guericke, quello stesso che inventò la macchina pneumatica. Essa consisteva in una sfera di solfo fissa ad un asse che si faceva ruotare con una mano, mentre l'altra appoggiata alla sfera serviva di strofinatore. Ben presto alla sfera di solfo si sostituì un cilindro di resina, cui Hauksbee sostituì un cilindro di vetro; ma la mano serviva sempre di strofinatore. Verso il 1740, Winkler, fisico tedesco, pel primo, fece uso come strofinatore di un cuscino di crini ricoperto di seta. Alla stessa epoca, Bose, professore nel ducato di Würtemberg, raccolse sopra un tubo di latta isolato l'elettricità sviluppata dallo strofinamento. Finalmente, nel 1766, Ramsden, a Londra, sostituì al cilindro di vetro un piatto circolare di vetro, strofinato da quattro cuscinetti. Da quell'epoca la macchina elettrica prese la forma che le si dà generalmente anche oggigiorno.

Fra due sostegni di legno (fig. 488) avvi un disco P, di vetro, fisso pel suo centro ad un asse che si fa ruotare mediante una manovella. Questo disco è compresso fra quattro *strofinatori* o *cuscinetti* F, di cuoio o di seta, posti a seconda del suo diametro verticale. Nella direzione del suo diametro orizzontale, vi sono due tubi di ottone, ricurvi a ferro di cavallo, detti *pettini* o *mascelle*, perchè armati di punte o denti situati dinanzi alle due facce del disco. Questi pettini sono fissi a tubi più grossi C che si dicono i *conduttori*. Questi ultimi sono isolati su quattro piedi di vetro, e comunicano fra loro per mezzo d'un tubo di diametro più piccolo. Finalmente, delle listerelle di stagno O, incollate sui lati dei due sostegni di legno che portano i cuscinetti, fanno comunicare quest'ultimi con una catena metallica D e col suolo.

Ciò posto, la teoria della macchina elettrica, fondata sulla elettrizzazione per istrofinamento e per influenza, è semplicissima. Nel suo movimento di rotazione, il disco di vetro si elettrizza positivamente, ed i cuscinetti negativamente. Ora quest'ultima perdendosi nel suolo per le liste

di stagno O e la catena D, i cuscinetti tendono costantemente a ritornare allo stato neutro. Al contrario, l'elettricità del piatto, non potendo disperdersi, rimane sulle due facce senza produrre alcun effetto durante un quarto di giro, vale a dire dopo il cuscinetto superiore F, per esempio, fino al pettine diritto. La elettricità positiva del vetro, agendo per influenza sul pettine e sui conduttori, ne decompone il fluido neutro, respinge il fluido positivo e attira dalle punte il fluido negativo, che viene a riunirsi al fluido positivo del piatto. La porzione di quest'ultimo

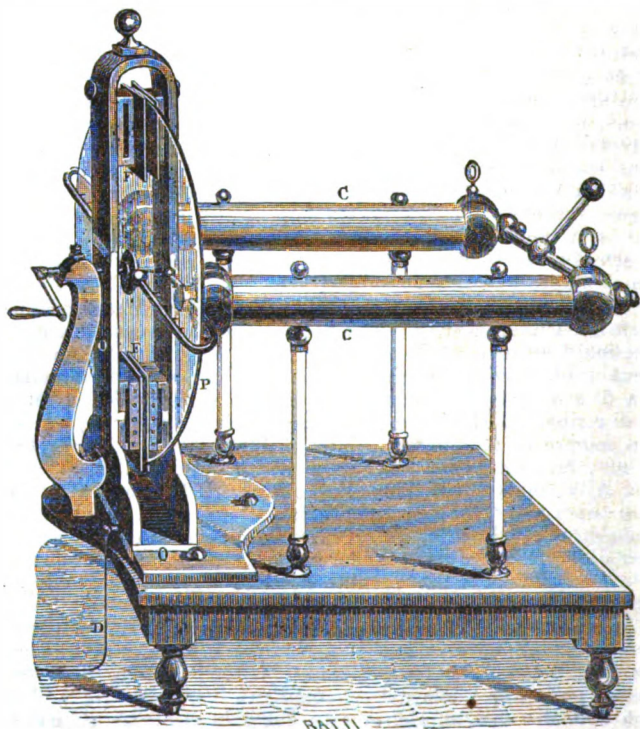



Fig. 488 (a. = $1^m,70$).

che ha agito sui conduttori si trova dunque ricondotta allo stato neutro fino a che essa venga a passare pei cuscinetti inferiori. Là essa si elettrizza di nuovo, e agisce in seguito sul secondo pettine come ha fatto sul primo, e così di seguito. I conduttori, che perdono così la loro elettricità negativa, rimangono adunque elettrizzati positivamente. Per conseguenza, nella macchina elettrica, il disco nulla cede ai conduttori: esso, al contrario, non fa che sottrarne il fluido negativo, e così restano caricati di elettricità positiva.

Una volta caricata la macchina, se le si accosta la mano, se ne trae una forte scintilla, che rinnovasi ogni qual volta si faccia ruotare il disco; perchè la scintilla, essendo il risultato della combinazione del fluido negativo della mano col fluido positivo della macchina, questa tende sempre a ciascuna scintilla a ritornare allo stato neutro; ma tosto l'influenza del disco la elettrizza di nuovo.

636. **Riguardi che si debbono avere colle macchine elettriche, cuscinetti di Steiner.** — Per dare ad una macchina elettrica tutta l'attività di cui è suscettibile, bisogna disseccare con cura i sostegni, il disco ed i cuscinetti. Per far ciò, si riscaldano leggermente e si asciugano con un panno caldo.

I cuscinetti meritano speciale attenzione, tanto per la loro posizione, quanto per mantenerli in buono stato. Quelli che più si usano, sono di pelle sottile, riempiti di crini e coperti d'*oro musivo*, materia polverulenta, che non è altro che deutosolfuro di stagno, il quale aumenta di molto lo sviluppo della elettricità, probabilmente a cagione di una decomposizione chimica, come lo indica l'odore solforoso che spandono i cuscinetti durante lo strofinamento. Però, Ed. Becquerel pur ammettendo le sostanze ossidabili che nelle azioni chimiche danno gli effetti più energici, sono quelle che collo sfregamento sviluppano maggior quantità di elettricità, ammette ancora che lo stato molecolare dei corpi sfregati influisce molto sui risultati ottenuti. Infatti, ha constatato colla esperienza che i corpi in polvere e dolci al tatto, come l'oro musivo, il talco, la piombaggine, la farina, i fiori di solfo, il carbone di coke, sviluppano molta elettricità collo sfregamento. Ma non potrebbe ciò dipendere da che lo stato, durante lo sfregamento, di polvere impalpabile, al quale questi corpi sono ridotti, li rende più propri a prestarsi alle azioni chimiche in presenza dell'ossigeno dell'aria?

Da pochi anni, Steiner, a Francoforte sul Meno, rimise in uso antichi strofinatori, che sembra si debbano a Van-Marum, nel 1788, e che danno alle macchine una tensione elettrica molto superiore a quella che si ottiene coi cuscinetti di crine. Questi strofinatori, rappresentati nella figura 488, consistono in una piastra di legno ben liscia, compressa sul disco da una doppia molla o da due viti di pressione, il che è preferibile. Questa piastra di legno è ricoperta, in tutta la sua estensione, da quattro pezzi di stoffa di lana grossa come quella delle coperte da letto. Sul primo pezzo di stoffa è applicata una foglia di stagno che si ripiega al disotto per passare tra il primo pezzo di lana ed il secondo, indi fra il secondo ed il terzo, e così di seguito finchè arriva alla tavola, ove è posta in comunicazione con un foglio di carta indorata, applicato dietro alla stessa e comunicante col suolo per mezzo di foglie di stagno e di catene metalliche fisse ai sostegni che portano i cuscinetti.

Ciò posto, il tutto è ricoperto d'una stoffa di cotone attaccata al contorno della tavola. Questa stoffa di cotone, leggermente unta di sego, vien ricoperta con un amalgama di stagno, zinco, bismuto e mercurio, amalgama di cui Steiner non fece conoscere le proporzioni. Sulla stoffa di cotone è in seguito applicato un pezzo di forte taffetà unito al cotone all'alto ed al basso, e lateralmente da una parte soltanto. Dall'altra si prolunga, nel senso della rotazione del disco, per circa 6 centimetri, in modo da ricoprire in parte il disco stesso. Finalmente, sul taffetà avvi un intonaco di sego, poi uno strato dell'amalgama stesso che tro-

vasi applicato sul cotone. Lo strato d'amalgama applicato al taffetà è quello che strofina il disco e lo elettrizza positivamente, mentre l'amalgama, elettrizzandosi negativamente, trasmette la sua elettricità all'amalgama del cotone, indi alla foglia di stagno e da questa al suolo.

Steiner osservò che il colore del taffetà non è senza influenza sullo svolgimento dell'elettricità. Il taffetà giallo è quello che fornisce maggior quantità di elettricità; poi il verde, il turchino, il rosso e il bianco; indi il bruno e il violaceo, e finalmente il nero che non ne fornisce punto.

Coi cuscinetti or ora descritti si ottiene, specialmente in tempo asciutto, uno sviluppo di elettricità considerevole. Con macchine aventi disco del diametro di 80 centimetri, forti scintille partono continuamente dai cuscinetti, e vanno fino ai pettini seguendo il lembo del disco A; ciò che probabilmente si deve allo spigolo pronunciato di questo e all'amalgama che vi resta aderente. Il solo inconveniente degli strofinatori che abbiamo descritti, si è che il taffetà si lorda in breve tempo, ed allora bisogna cambiarlo, altrimenti l'effetto è indebolito di molto.

Affine d'evitare la dispersione dell'elettricità del piatto nell'aria, qualche volta si usa fissare, ai sostegni di legno, due quarti di circolo di taffetà gommato che circondano il vetro senza toccarlo, l'uno da *a* in P e l'altro dalla parte opposta. Questi taffetà non sono rappresentati nel nostro disegno. Si è constatato che la seta gialla sottile e oliata, dà i migliori effetti; importa che i taffetà non siano gommati che da un solo lato, quello cioè non applicato sul vetro; finalmente, bisogna anche che sussista perfetto contatto tra la stoffa e il disco di vetro.

La macchina elettrica di Ramsden, disposta come è rappresentata nella figura 488, dà necessariamente dell'elettricità positiva; si può però con essa ottenere anche dell'elettricità negativa. Per ciò, si isolano i quattro piedi della tavola mediante grossi sostegni di vetro o di resina, quindi si fa comunicare il conduttore C col suolo. Facendo ruotare in seguito il disco, l'elettricità positiva dei conduttori si disperde nel terreno, intanto che l'elettricità negativa dei cuscini si spande nei sostegni che portano il disco, e nella tavola. Avvicinando allora la mano ai sostegni e principalmente alle liste di stagno O, se ne cavano delle scintille.

637. **Tensione massima, elettrometro a quadrante.** — Anche osservando tutte le precauzioni che abbiamo fatto conoscere, la tensione della macchina elettrica ha un limite che non si può oltrepassare, qualunque siasi la velocità di rotazione del disco ed il tempo pel quale lo si faccia ruotare. Questo limite, che ha luogo allorquando la somma delle dispersioni è uguale alla produzione, proviene da tre cause che sono: 1.ª la perdita che avviene a motivo dell'aria e del vapore acqueo in essa contenuto; 2.ª la perdita pei sostegni; 3.ª la ricomposizione delle due elettricità dei cuscini e del disco.

Abbiamo già considerato le prime due cause di dispersione (626); per rendersi conto della terza, basta osservare che la tensione elettrica, crescendo colla velocità di rotazione, giunge un momento in cui essa supera la resistenza che presenta la inconducibilità del vetro. Da questo istante una porzione delle due elettricità sviluppate, mediante lo sfregamento, sul disco e sui cuscinetti si ricompone per dare il fluido neutro. Per evitare questa causa continua di perdita, importa di far comunicare i cuscinetti col suolo nel modo più perfetto che sia possibile, affinchè la loro elettricità, sperdendosi nella terra, non venga a neutralizzare quella del disco. Gli è a questo scopo che si sono fissate

lungo i sostegni di legno della macchina, delle foglie di stagno O (fig. 488), le quali discendono dai cuscinetti fino alla catena D. Quanto a quest' ultima essa deve immergersi nell' acqua di un pozzo, o comunicare col piede di un albero, o, se è possibile con una colonna di ferraccio di quelle che portano le lampade a gaz.

Fig. 489.

La tensione dell' elettricità sulle macchine elettriche si misura coll'*elettrometro a quadrante* o *elettrometro di Henley*. Chiamasi così un piccolo pendolo elettrico consistente in un' astina di legno *d*, alla quale è fissato un quadrante d'avorio *c* (fig. 489). Al centro di questo quadrante avvi un piccolo asse, attorno al quale ruota un ago di balena terminato da una palla di midollo di sambuco *a*. Trovandosi lo strumento attaccato a vite all'uno dei conduttori, come mostra il disegno, di mano in mano che la macchina si carica, l'ago diverge e cessa di ascendere quando il massimo di tensione è raggiunto. Se allora si cessa di far ruotare il disco, l'ago ricade rapidamente nell' aria umida; ma nell' aria secca non ricade che lentamente, d'onde si deduce che in questo caso la dispersione è debole.

638. **Conduttori secondari.** — Diconsi *conduttori secondari* alcuni grossi cilindri di ottone, di latta o di legno ricoperto di stagno che si isolano mediante piedi di vetro, o sospendendoli a cordoni di seta, e che in seguito si mettono in comunicazione col conduttore della macchina elettrica. Trovandosi così aumentata la superficie sulla quale

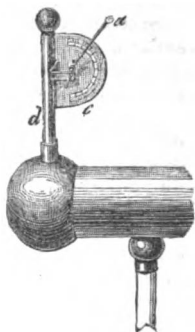
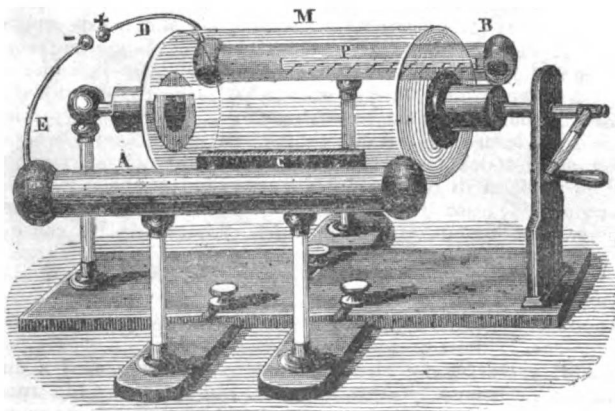



Fig 490 (a. = 70).

si accumula l' elettricità, la tensione non cresce, ma la quantità di elettricità raccolta aumenta, a tensione uguale, proporzionalmente alla superficie. Infatti, se si scarica allora la macchina facendola comu-

nicare col suolo, se ne traggono scintille assai più intense e che producono viva luce nell'aria.

639. **Macchina elettrica di Nairne.** — Colla macchina elettrica da noi descritta non si può raccogliere che l'elettricità positiva. Nairne, in Inghilterra, allo scopo di elettrizzare gli ammalati, immaginò una macchina elettrica che porta il suo nome, ed a mezzo della quale si raccolgono simultaneamente le due elettricità. Questa macchina, rappresentata dalla figura 490, si compone di due conduttori isolati, che non comunicano fra loro. L'uno porta un cuscino C, di pelle riempito di crini, e l'altro un pettine P, munito di varie punte. Fra questi due conduttori vi è un cilindro di vetro M che ruota mediante una manovella, e che da una parte tocca il cuscinetto e dall'altra passa assai vicino alle punte.

Ciò posto, allorchè si fa ruotare il cilindro di vetro, il cuscino C e il conduttore A si elettrizzano negativamente, ed il vetro positivamente. Ora, questo, rasentando le punte del conduttore B, decompone il suo fluido naturale e gli sottrae il fluido negativo, dal che risulta che questo conduttore rimane elettrizzato positivamente. Due aste ricurve D ed E terminate da due palle di ottone sono situate abbastanza vicine perchè si abbia costantemente una serie di scintille provenienti dalla ricomposizione delle due elettricità dei conduttori.

640. **Macchina di Van-Marum.** — Van-Marum costrusse una macchina elettrica, colla quale si può ottenere a piacere l'una o l'altra elettricità. Questa macchina, rappresentata dalle figure 491 e 492, si compone di

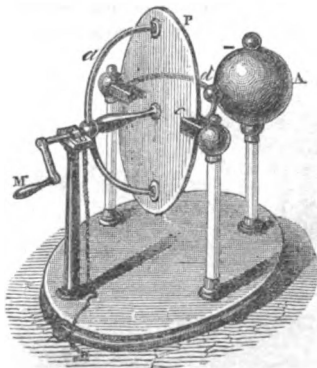
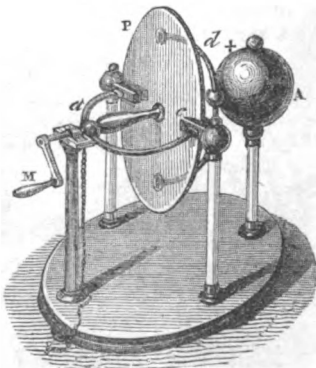



Fig. 491. Fig. 492.

una ruota di vetro P, che gira fra quattro cuscini *c*, fissi a due palle di ottone isolate mediante piedi di vetro. Sul davanti della ruota evvi un arco di ottone *a*, a due braccia, sostenuto dal piede che porta l'asse della ruota stessa, e che può esser posto verticalmente (fig. 491) od orizzontalmente (fig. 492). Finalmente, dall'altra parte della ruota evvi una grossa sfera di ottone A, isolata sopra un sostegno di vetro, ed alla quale è unito un arco *d*, simile al primo e che, come quello, può essere diretto orizzontalmente (fig. 491) o verticalmente (fig. 492).

Ciò posto, allorchè i due archi *a* e *d* son disposti come lo mostra la figura 491, i due rami dell'arco *d* toccano i cuscini, ma quelli dell'arco *a* si trovano solamente assai vicini alla ruota di vetro, senza toccarla. Per conseguenza, se, mediante la manovella M, si fa girare la ruota, i cuscini, che si elettrizzano negativamente, cedono la loro elettricità all'arco *d* ed alla sfera A, che trovasi così carica di elettricità negativa. Quanto all'elettricità positiva del disco P, agisce per influenza sull'arco *a*, e sottrae al suolo il fluido negativo che la riconduce allo stato neutro.

Al contrario, se i due rami *a* e *d* sono disposti come nella figura 492, i cuscini comunicando allora col suolo mediante l'arco *a*, perdono tutta la loro elettricità, intanto che la ruota che è elettrizzata positivamente, agendo per influenza sull'arco *d* e sulla palla A, ne sottrae il fluido negativo; di modo che in questo caso la sfera A resta elettrizzata positivamente.

641. **Macchina idro-elettrica d'Armstrong.** — La *macchina idro-elettrica* è una macchina nella quale lo sviluppo dell'elettricità è dovuto

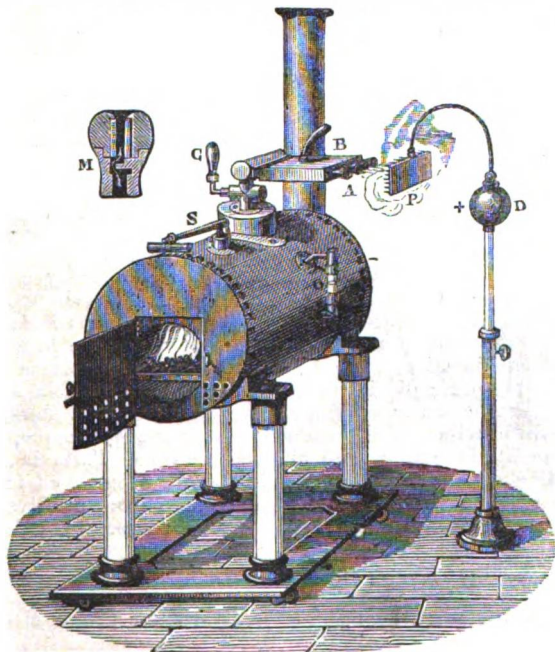



Fig. 493 (a. = 2m).

allo sfuggire del vapore acqueo da piccoli orifizi. Questa macchina fu inventata da Armstrong, fisico inglese, dopo la scoperta di un nuovo fatto osservato, nel 1840, presso Newcastle, sulla caldaia di una macchina a vapore. Essendosi aperta la valvola di sicurezza, il macchinista

che aveva una mano vicina al getto del vapore, allungando l'altra per afferrare la leva della valvola, ricevette una forte scossa, e vide una viva scintilla tra la leva e la propria mano.

Informato di questo fenomeno, Armstrong lo riprodusse su di un'altra caldaia e riconobbe che il vapore che sfuggiva era carico di elettricità positiva. Esperimentando su di una locomotiva che egli aveva isolata, osservò che essa si elettrizzava negativamente allorchè si sottraeva mediante punte metalliche, al vapor d'acqua che sfuggiva nell'atmosfera, la sua elettricità positiva, ed ottenne così delle fortissime scintille. Fu allora ch'ei fece costruire la macchina rappresentata dalla fig. 493.

È una caldaia di latta, a focolare interno, isolata su quattro piedi di vetro. La sua lunghezza è di circa $1^m,50$, ed il suo diametro di $0^m,60$. Un tubo di cristallo O, posto verticalmente sulla parte destra della caldaia e comunicante con essa per le due estremità, indica il livello dell'acqua nell'interno. Un piccolo manometro ad aria compressa, che non è rappresentato nel disegno, indica la pressione. Al disopra della caldaia evvi un robinetto C, che si apre allorchè il vapore ha acquistata sufficiente tensione. Su questo robinetto è situato un serbatoio B, nel quale circolano i tubi da cui sfugge il vapore. Questi tubi sono terminati da tubi di aggiunta A di forma particolare, rappresentati più in grande dalla sezione M posta a sinistra del disegno. L'interno di questi tubi d'aggiunta è di legno duro, e ripiegato come mostra la freccia, ciò che aumenta lo strofinamento. Infine, la cassetta B è riempita d'acqua onde raffreddare i tubi di efflusso. Il vapore, prima di giungere ai tubi d'aggiunta, prova così un principio di condensazione e sorte mescolato a goccioline d'acqua; condizione necessaria, perchè, secondo le esperienze di Faraday, non si sviluppa elettricità pel passaggio del vapore *secco*.

Dapprima erasi attribuito lo sviluppo dell'elettricità nella macchina idro-elettrica alla condensazione del vapore; ma Faraday che fece numerose esperienze su questa macchina, trovò che lo sviluppo dell'elettricità è dovuto unicamente allo strofinamento dei globuli d'acqua contro le pareti dei tubi di sortita. Infatti, restando ferme le altre condizioni, se si cangiano i piccoli cilindri di legno che muniscono l'interno dei tubi A, la specie di elettricità che prende la caldaia è cangiata; con tubi d'avorio non si ottiene alcuna elettricità. Lo stesso avviene se si introduce nella caldaia una materia grassa qualunque, ed inoltre i tubi adoperati in questo caso più non servono. Tuttavia, non vi è sviluppo di elettricità che allorquando l'acqua è pura, ed in tal caso la caldaia è elettrizzata negativamente ed il vapore positivamente. Se si aggiunge essenza di trementina, l'effetto è rovesciato, vale a dire il vapore si elettrizza negativamente e la caldaia positivamente. L'introduzione d'una soluzione salina o di un acido fa tosto cessare tutto lo sviluppo d'elettricità. Faraday osservò inoltre alcuni effetti consimili con una corrente d'aria umida; ma coll'aria secca non si ottiene alcun effetto.

ESPERIENZE DIVERSE COLLA MACCHINA ELETTRICA

642. **Scintilla elettrica.** — Uno dei primi fenomeni che si osservano esperimentando con una macchina elettrica, è la viva scintilla che si trae dai conduttori avvicinandovi la mano. Già vedemmo (631) che la

causa di questo fenomeno è l'azione per influenza che esercita il fluido positivo della macchina sul fluido neutro della mano. Essendo questo decomposto, l'attrazione tra il fluido positivo della macchina ed il fluido negativo della mano supera la resistenza dell'aria, ed allora i due fluidi si ricompongono con rumore e luce; la scintilla appare viva, istantanea e accompagnata da una sensazione di puntura più o meno forte, secondo la potenza della macchina.

La forma della scintilla è variabile. Quando scocca a piccola distanza, essa è rettilinea, come mostra la figura 494. Al di là di sei o sette centimetri di lunghezza, la scintilla diventa irregolare e presenta

Fig. 494.

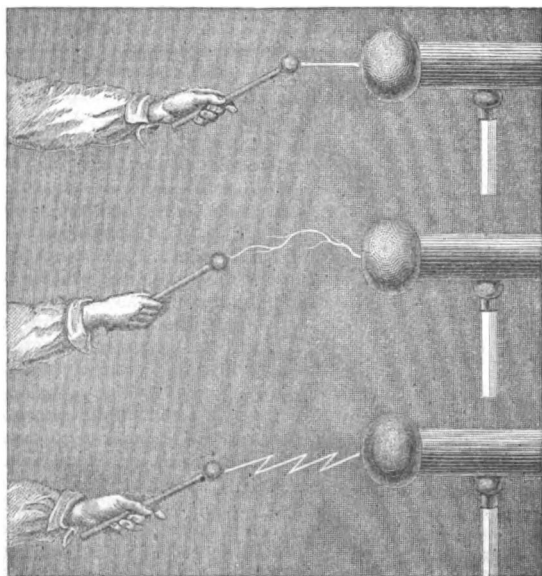



Fig 495.

Fig. 496.

la forma di una curva sinuosa, accompagnata da ramificazioni sottili (fig. 495). Finalmente, se la scarica è fortissima, la scintilla prende la forma in zig zag (fig. 496). Sono quest'ultime forme che presentano i lampi nelle nubi temporalesche.

643. **Sgabello elettrico.** — La scintilla elettrica si presenta sotto un aspetto rimarchevole e che fa stupire quelli che veggono questa esperienza per la prima volta, allorchè la si fa sortire dal corpo umano. Per ciò fare, si pone la persona che si vuol elettrizzare sopra uno sgabello a piedi di vetro, che chiamasi *sgabello elettrico;* questa persona, così isolata, pone una mano sull'uno dei conduttori della macchina elettrica. Siccome il corpo umano è buon conduttore dell'elettricità, a misura che la macchina si carica, il fluido si distribuisce sul corpo della persona isolata nello stesso tempo che sui conduttori; di modo che se si tocca la mano, il corpo o gli abiti di questa persona, se ne trag-

gono scintille come dalla macchina stessa. Fintanto che non si accosta la mano alla persona isolata, essa non prova alcuna commozione, per quanto fortemente sia elettrizzata; solo i suoi capelli si rizzano e si dirigono verso i corpi che loro vengono presentati, ed essa risente come un leggier soffio sulle mani e sulla persona.

Si può anche elettrizzare una persona isolata sullo sgabello a piedi di vetro battendola con una pelle di gatto; essa attrae allora il pendolino elettrico e dà scintille accostandovi la mano. Se la persona che tiene la pelle di gatto sale essa pure sopra un secondo sgabello isolante, i due esperimentatori restano elettrizzati, l'uno positivamente, l'altro negativamente (619).

Fu Dufay, fisico francese, che pel primo, nel 1734, trasse una scintilla dal corpo umano.

644. **Scampanio elettrico, apparato per la grandine.** — Lo *scampanio elettrico* è un piccolo apparato che si compone di tre campanelli sospesi da una verga orizzontale comunicante colla macchina elettrica (fig. 497). I campanelli A e B sono attaccati a catene metalliche che stabiliscono la comunicazione colla verga, ed il campanello di mezzo è sospeso ad un filo di seta che lo isola dalla macchina, ma comunica col suolo mediante una catena metallica. Finalmente fra il campanello di mezzo e gli altri due, vi sono due palle di ottone sospese a fili di seta. Ciò posto, allorquando si carica la macchina, i campanelli A e B si elettrizzano positivamente, attraggono le palle di ottone e le respingono dopo avvenuto il contatto. Ora, trovandosi queste elettrizzate positivamente, si portano verso il campanello C, che, sebbene comunicante col suolo, è carico di elettricità negativa per effetto dell'influenza degli altri due. Subito dopo il contatto, le palle sono adunque respinte verso i campanelli A e B, ed eseguiscono così un rapido movimento oscillatorio con percosse successive che fanno risuonare i tre campanelli per tutto il tempo che la macchina è carica.

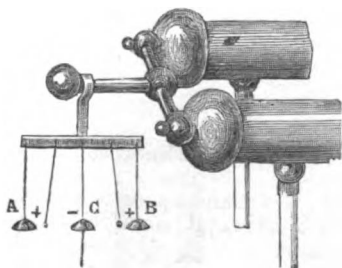



Fig. 497.

Per ispiegare come la gragnuola possa sovente pervenire a grossezza considerevolissima prima di cadere, Volta immaginò un apparato fondato, come il precedente, sulle attrazioni e ripulsioni elettriche. Questo apparato consiste in una campana di vetro collocata sopra un piatto di rame, nel quale si pongono alcune piccole palle di midollo di sambuco (fig. 498). Nel collo della campana passa, a dolce sfregamento, un'asta di ottone, che alla parte inferiore termina con una palla dello stesso metallo, ed alla parte superiore comunica colla macchina elettrica. Appena che questa si carica, la palla che è nell'apparato si elettrizza, attrae le palle di sambuco, ed in seguito le respinge, di modo che esse si agitano con grande rapidità, andando dal piatto alla palla e dalla palla al piatto, cedendo a questo l'elettricità che prendono da quella. Fondandosi su questa esperienza, Volta ammise che, allorquando la gragnuola si trova fra due nubi cariche di elettricità contraria, va successivamente dall'una all'altra e condensa alla sua superficie il va-

pore d'acqua che la circonda, il quale, congelandosi, le fa acquistare quel volume che si osserva talvolta; ma questa teoria, che non è suf-

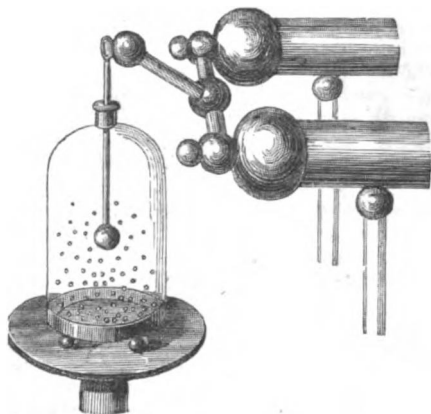
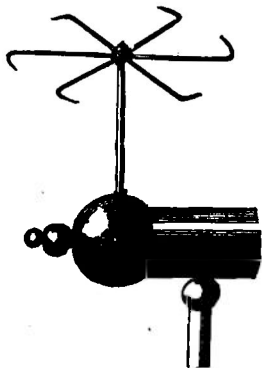



Fig. 498.

ficiente a render conto della grossezza della grandine, non è ammessa oggidì.

645. **Arganetto elettrico, insufflazione.** — Dicesi *arganetto elettrico* un piccolo apparato composto di cinque o sei raggi metallici ricurvi tutti nello stesso senso, terminati in punte, e fissi ad un cappelletto comune, mobile su di un perno (fig. 499). Posto quest'apparato sulla macchina elettrica, tosto che questa si carica, i raggi ed il cappello prendono un rapido movimento di rotazione nella direzione opposta alle punte. Questo movimento non è già l'effetto di una reazione paragonabile a quella dell'arganetto idraulico (84, pag. 59), come lo ammisero parecchi fisici; ma è un effetto della ripulsione tra l'elettricità delle punte e quella che esse comunicano all'aria. Il fluido elettrico accumulandosi verso le punte, sfugge nell'aria, e siccome questa allora trovasi caricata della stessa elettricità delle punte, le respinge nello stesso tempo che essa pure ne è respinta. Si riconosce infatti che l'arganetto elettrico non si pone in moto che nel vuoto, e se vi si accosta la mano intanto che gira nell'aria, si sente un leggier soffio dovuto allo spostamento dell'aria elettrizzata.

Fig. 499.

Quando l'elettricità sfugge così da una punta, l'aria elettrizzata è respinta abbastanza fortemente per dare origine ad una corrente che non solo è sensibile alla mano, ma fa piegare, e con una macchina possente può anche spegnere la fiamma d'una candela. La figura 500 mostra come si dispone questa esperienza. Si ottiene lo stesso effetto

anche ponendo la candela sull'uno dei conduttori e presentandovi colla mano una punta metallica (fig. 501). La corrente, in quest'ultimo caso,

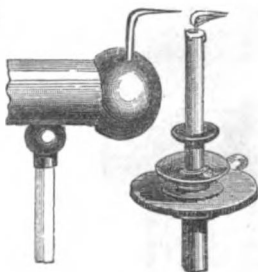
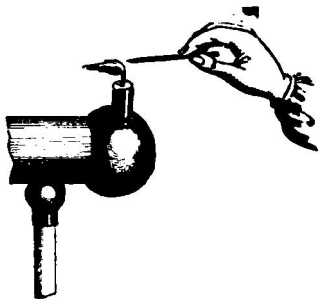



Fig. 500. Fig. 501.

proviene dal fluido contrario che si sprigiona dalla punta per l'influenza della macchina.

CAPITOLO IV.

CONDENSAZIONE DELL'ELETTRICITÀ

646. **Condensatori, loro teoria.** — Si dà il nome generale di *condensatori* agli apparecchi che servono ad accumulare, su superficie relativamente piccole, delle quantità considerevoli di elettricità. Se ne costruiscono di diverse sorta, fondati tutti sul principio dell'elettrizzazione per influenza (628), e composti essenzialmente di due corpi conduttori separati da un corpo non conduttore. Noi descriveremo dapprima il *condensatore di Epino.*

Questo apparecchio si compone di due dischi di rame A e B (figura 502), e di una lamina di vetro C che li separa. Questi dischi muniti ciascuno di un piccolo pendolo elettrico, sono isolati sopra due colonne di vetro, e i piedi di queste possono essere spostati lungo un regolo di ottone che loro serve di sostegno, in modo da allontanare od avvicinare a volontà i due dischi. Quando si vogliono accumulare le sue elettricità sui dischi, si mettono in contatto colla lamina di vetro, come rappresenta la fig. 503; poi, mediante corde metalliche, si fa comunicare uno di essi, B per esempio, colla macchina elettrica e l'altro col suolo.

Per renderci conto come la elettricità si accumuli in questo apparecchio, conveniamo di chiamare, nei due dischi, facce *anteriori* quelle che stanno vôlte verso la lamina di vetro, e facce *posteriori* quelle opposte. Di più, supponiamo dapprima il disco A abbastanza lontano dal disco *collettore* B perchè non ne sia influenzato. In questo caso, il disco B, posto in comunicazione colla macchina elettrica, prende una carica *maximum* che si distribuisce ugualmente sulle due facce, e il pendolo *b* diverge fortemente. Se si sopprime la comunicazione colla

macchina, nulla è mutato; ma se si approssima lentamente il disco A, il suo fluido neutro è decomposto per l'influenza del disco B, l'elet-

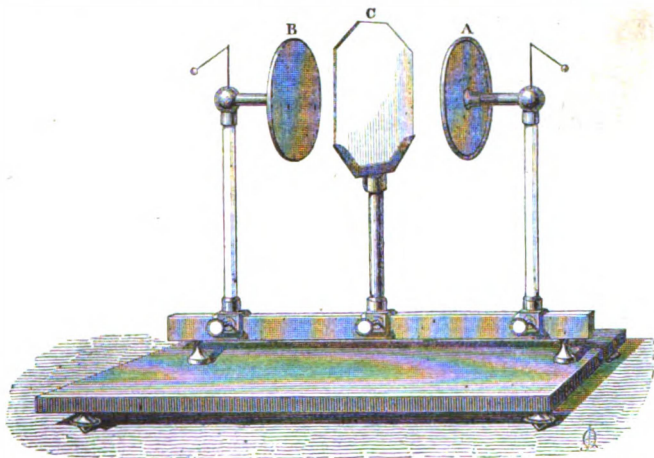



Fig. 502.

tricità negativa si porta sulla faccia anteriore n (fig. 504), e la positiva si disperde nel suolo. Ora, la elettricità negativa del disco A re-

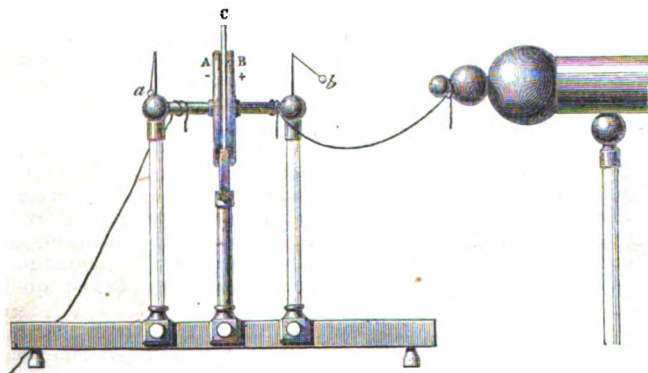



Fig. 503.

agendo alla sua volta sulla elettricità positiva del disco B, il fluido di quest'ultimo cessa di essere ugualmente distribuito sulle sue due facce e si porta in parte sulla faccia anteriore m. La faccia posteriore p avendo così abbandonata una grande porzione della sua elettricità, la sua tensione diminuisce e non può più fare equilibrio alla tensione della macchina. Una nuova quantità di elettricità passa dunque da questa sul disco B,

dove, agendo, come è stato detto, essa decompone per influenza una seconda quantità di fluido neutro sul disco A. Da ciò una nuova accumulazione di fluido negativo sulla faccia *n*, e, per conseguenza, di fluido positivo sulla faccia *m*. Ma ciascuna volta che la macchina cede elettricità al disco collettore, una parte soltanto di questa elettricità passando sulla faccia *m*, e l'altra rimanendo sulla faccia *p*, la tensione sopra quest'ultima va sempre crescendo finchè eguagli quella della macchina. Da questo momento, l'equilibrio si stabilisce e si giunge così ad un limite di carica che non può essere sorpassato. La quantità di elettricità accumulata sulle due facce *m* ed *n* è in tal caso considerevolissima; però il pendolo *b* diverge appunto di tanto quanto divergeva quando il disco A era lontano; e ciò perchè la tensione in *p* è precisamente la stessa che era allora: quella della macchina. La divergenza del pendolo *a* è nulla.

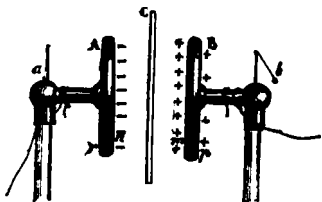



Fig. 504.

Per ispiegare l'accumulazione della elettricità nei condensatori, si è ritenuto per lunga pezza, che l'elettricità del secondo disco A *neutralizzasse* l'elettricità contraria del disco collettore, e che era, perchè quest'ultima era allora *dissimulata*, divenuta *latente*, che il disco B prendeva dalla macchina una nuova quantità di elettricità. Ma si scorge da ciò che precede, che è inutile di ricorrere ad alcuna ipotesi particolare sullo stato della elettricità, per dare una teoria completa dei condensatori.

Quando il condensatore è caricato, vale a dire quando le elettricità contrarie sono accumulate sulle facce anteriori, si rompono le comunicazioni colla macchina elettrica e col suolo, togliendo le due catene metalliche. Ora, dietro quanto è stato detto, il disco A è caricato di fluido negativo solamente sulla sua faccia anteriore *n* (fig. 504), l'altra faccia essendo allo stato neutro. Al contrario, il disco B è elettrizzato positivamente sulle sue due facce ma inegualmente; l'accumulazione avendo luogo sulla faccia anteriore, mentre che sulla posteriore *p* la tensione uguaglia solamente quella della macchina al momento in cui si rompono le comunicazioni. Infatti, il pendolo *b* diverge, ed *a* rimane verticale. Ma se si allontanano i due dischi, si vedono i due pendoli divergere (figura 502); ciò dipendentemente che le elettricità contrarie non reagendo più da un disco all'altro, il fluido positivo si distribuisce ugualmente sulle due facce del disco B, e il fluido negativo su quelle del disco A.

647. **Scariche lenta e istantanea.** — I dischi essendo in contatto colla lamina isolante (fig. 503), e le catene tolte, si può scaricare il condensatore, vale a dire ricondurlo allo stato neutro, in due maniere: con una scarica lenta, o con una scarica istantanea. Per iscaricarlo lentamente, si tocca col dito dapprima il piatto B, vale a dire quello che contiene un eccesso di elettricità; se ne cava così una scintilla, e l'elettricità della faccia *p* sperdendosi nel suolo, il pendolo *b* ricade, ma *a* diverge. In fatti, il disco B, avendo perduto una parte della sua elettricità, non conserva sulla faccia *m* che quella ritenuta dalla elettricità negativa del disco A. Ora, a cagione della distanza, la quan-

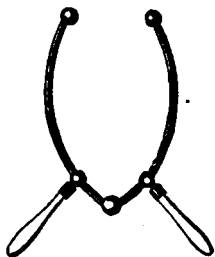
tità di elettricità ritenuta in B è minore di quella di A; ciò che spiega perchè il pendolo *a* si mette a divergere, e perchè, se si tocca attualmente il disco A, se ne cavi una scintilla che fa ricadere il pendolo *a* e divergere *b*; e così di seguito, continuando a toccare alternativamente i due dischi. La scarica non si opera così che lentissimamente, e se l'aria è secca, essa esige più ore. Se si toccasse dapprima il disco A, che è il meno elettrizzato, non gli si toglierebbe punto di elettricità, giacchè tutta quella che possiede è trattenuta da quella del disco B.

Allorchè si vuol scaricare istantaneamente il condensatore, si pongono in comunicazione i due dischi mediante l'*eccitatore*. Chiamasi così un sistema di due archi di ottone terminati da sfere del medesimo metallo e riuniti a cerniera. Quando questi archi sono muniti di manici isolanti di vetro, come lo mostra la figura 505, l'apparato si chiama *eccitatore a manici di vetro*; se gli archi non sono muniti di manici (fig. 508), gli si dà il nome di *eccitatore semplice*. Per far uso dell'eccitatore, si applica una delle sue sfere sull'uno dei dischi del condensatore, e si avvicina l'altra al secondo disco; allora scocca una viva scintilla proveniente dalla ricomposizione delle elettricità contrarie accumulate sulle due facce del condensatore. Tuttavia la ricomposizione non è completa, perchè si possono ancora trarre, allo stesso modo, una o due scintille, ma sempre di più in più deboli. Si conchiude da ciò che allorquando i due dischi comunicano fra loro, le loro due elettricità non si ponno riunire totalmente. Questo fenomeno proviene da ciò che le due facce della lastra di vetro elettrizzate per l'influenza dei dischi metallici reagiscono alla loro volta sopra questi per elettrizzarli di nuovo.

Fig. 505 (a. = 41).

Quando si scarica il condensatore coll'eccitatore, anche semplice, sebbene lo si tenga in mano non si risente nessuna scossa. Causa di questo si è che siccome il fluido elettrico di due conduttori sceglie sempre il migliore, la ricomposizione delle due elettricità si opera per l'arco metallico e non pel corpo dell'esperimentatore. Ma se, toccando con una mano l'una delle facce del condensatore, si avvicina l'altra mano alla seconda faccia, la ricomposizione si opera attraverso le braccia ed il corpo, e si risente una commozione tanto più viva quanto maggiore è la superficie del condensatore e più forte la carica elettrica.

648. **Limite della carica dei condensatori.** — La quantità di elettricità che può accumularsi su ciascuna faccia del condensatore è, poste eguali le altre circostanze, proporzionale alla tensione della sorgente e alla superficie dei dischi, ma diminuisce quando la grossezza della lamina isolante aumenta. In ogni caso, due cause limitano la quantità di elettricità che può accumularsi sulle facce del condensatore. La prima, è che, come si è veduto, la quantità di elettricità libera sul disco collettore crescendo gradatamente, la tensione su questo disco finisce necessariamente per eguagliare la tensione della macchina, e, partendo da questo momento, quest'ultima non può nulla cedere al condensatore.

La seconda causa è la resistenza limitata che presenta alla ricomposizione delle due elettricità la lamina isolante posta tra i due dischi; infatti, quando la tensione dei due fluidi per ricombinarsi vinca la resistenza di questa lamina, essa è forata, e i fluidi contrari si riuniscono.

649. **Calcolo della forza condensante.** — Si chiama *forza condensante*, il rapporto tra la carica totale che prende il disco *collettore* quando è influenzato dal secondo disco, con quella che riceverebbe se fosse solo; o, ciò che val lo stesso, il rapporto tra la quantità totale della elettricità del piatto collettore con quella che vi si trova libera; giacchè si è veduto che l'elettricità che resta libera sul piatto collettore è precisamente quella che prende essendo solo (646).

Per calcolare la forza condensante, siano P la quantità totale di elettricità positiva sul disco collettore, N la quantità totale di elettricità negativa sul secondo disco, e a l'elettricità libera sul primo, si ha $N = mP$ [1], m essendo una frazione il cui valore è tanto più prossimo all'unità, quanto più è sottile la lamina isolante tra i due dischi. Ora, se si tocca il disco collettore, gli si toglie la sua elettricità libera a. Gli uffici sono dunque mutati; è il secondo disco, la cui carica è attualmente maggiore, ma in un rapporto ancora eguale ad m, la lamina isolante essendo la stessa; vale a dire che si ha

$$P - a = mN \; [2], \text{ o } P - a = m^2P \; [3],$$

sostituendo ad N il suo valore dato dalla eguaglianza [1]. Dalla equazione [3] si cava

$$\frac{P}{a} = \frac{1}{1 - m^2},$$

rapporto che non è altra cosa che la forza condensante cercata. Quanto al valore di m, esso si determina colla esperienza, mediante il piano di prova e la bilancia di torsione.

650. **Quadro fulminante.** — Il *quadro fulminante* è un condensatore più semplice di quello di Epino, e più atto a dare vive scintille e forti scosse. Esso si compone di una lastra di vetro ordinario circondata da una cornice di legno. Sulle due facce di questa lastra sono applicate due foglie di stagno l'una rimpetto all'altra, in modo che fra i loro lembi e la cornice rimanga un intervallo di sei centimetri circa. Le due foglie non comunicano fra loro, ma l'una di esse comunica colla cornice mediante una piccola lista di stagno che si ripiega (fig. 506),

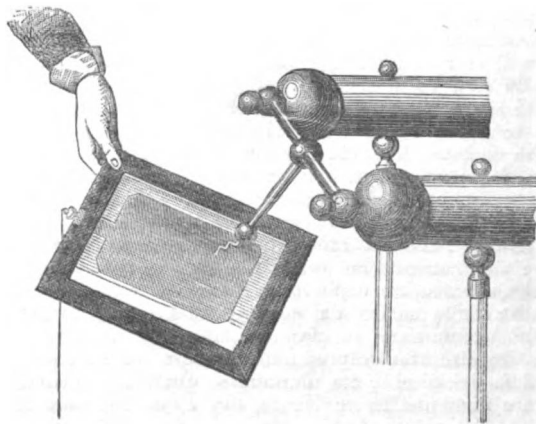



Fig. 503 (l. = 42).

in modo di essere in contatto con un anello al quale è sospeso una catena. Per caricare il quadro fulminante, si presenta alla macchina elettrica la foglia di stagno isolata, vale a dire quella che non comunica colla cornice di legno. Siccome quest'ultima poi, mediante la catena, è posta in comunicazione col suolo, le due foglie si comportano precisamente come i dischi del condensatore di Epino, e sull'una e sull'altra si accumulano in grande quantità le elettricità contrarie.

Il quadro fulminante si scarica come il condensatore (647), coll'eccitatore semplice. Per far questo, tenendo in mano il quadro, si applica una delle sfere dell'eccitatore sull'estremità A della lista di stagno appartenente alla foglia inferiore; quindi, curvando l'eccitatore, si avvicina l'altra sfera alla foglia superiore. Scatta allora viva e rumorosa scintilla, dovuta alla ricomposizione delle due elettricità, ma senza che l'esperimentatore risenta la menoma scossa, perchè la ricomposizione si opera interamente per mezzo dell'arco metallico. Se, al contrario, tenendo sempre l'apparato allo stesso modo, si toccano nell'istesso tempo ambo le foglie colle mani, si riceve una fortissima scossa, operandosi la ricomposizione delle elettricità attraverso le braccia ed il corpo.

651. **Bottiglia di Leyda.** — La *bottiglia di Leyda*, così chiamata dal nome della città ove fu inventata, è dovuta all'olandese Musschenbroek (alcuni dicono a Cuneo, suo allievo) che la scoperse per caso nel 1746.

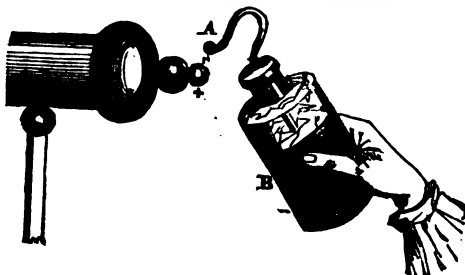



Fig. 507 (a. = 25).

Avendo fissata un'asta metallica nel turacciolo di una bottiglia riempita d'acqua, presentolla alla macchina elettrica per elettrizzare il liquido. Ora, siccome la mano che teneva la bottiglia faceva l'ufficio di un disco del condensatore, intanto che l'acqua nell'interno faceva le funzioni dell'altro, si accumulò sulla parete interna del fluido positivo, e sulla parete esterna, che trovavasi in contatto colla mano, del fluido negativo. In fatti, avendo accostata una mano all'asta metallica, intanto che l'altra teneva ancora la bottiglia, Musschenbroek ricevette nelle braccia e nel petto una scossa così forte che scrivendo a Réaumur, poco tempo dopo, disse che non avrebbe ripetuta l'esperienza per tutto il regno di Francia.

Ciò non ostante, una volta conosciuta tale esperienza, si affrettarono a ripeterla da tutte le parti. L'abbate Nollet, professore di fisica a Parigi, pel primo, sostituì all'acqua che trovavasi nella bottiglia delle foglie spiegazzate di stagno, di rame, d'argento o d'oro. Un fisico inglese aveva già riconosciuto che, coprendo l'esterno della bottiglia con una foglia di stagno, le scosse erano più vive. La bottiglia di Leyda prese adunque poco a poco la forma che le si dà oggigiorno, ma se ne ignorava ancora la teoria; Franklin fu il primo che la fece conoscere, dimostrando che la bottiglia di Leyda altro non è che un vero condensatore come il quadro fulminante.

Rappresentata dalla figura 507, al momento della carica, la bottiglia di Leyda si compone di una boccia di vetro sottile, la di cui grandezza

varia secondo la quantità di elettricità che si vuol accumulare. L'interno è riempito di foglie di rame o d'oro battuto. Sulla parete esterna è incollata una foglia di stagno B che ricopre anche il fondo, ma che deve lasciar scoperto il vetro fino ad una certa distanza dal collo. Vi si adatta un turacciolo di sughero, nel quale passa a duro attrito, un'asta di rame ricurva a guisa di uncino e terminata da un bottone A; all'interno, questa verga comunica colle foglie d'oro o di rame che riempiono la bottiglia; a queste foglie si dà il nome di *armatura interna,* ed alla foglia di stagno B quello di *armatura esterna.*

La bottiglia di Leyda si carica, come il condensatore di Epino ed il quadro fulminante, facendo comunicare l'una delle armature col suolo e l'altra con una sorgente elettrica; per ciò, si tiene in mano l'armatura esterna, e si presenta l'armatura interna alla macchina elettrica: il fluido positivo si accumula allora sulle foglie d'oro ed il fluido negativo sullo stagno. Il contrario avrebbe luogo se si tenesse la bottiglia per l'uncino e si presentasse l'armatura esterna alla macchina. Del resto, la teoria della bottiglia di Leyda è identicamente la stessa di quella già data pel condensatore, e tutto ciò che si disse di questo (646) si applica alla bottiglia di Leyda, sostituendo le sue due armature ai dischi A e B della figura 503.

Come il condensatore essa si scarica lentamente od istantaneamente. Per iscaricarla istantaneamente la si tiene colla mano, come rappresenta la figura 518, e si pongono in comunicazione le due armature mediante

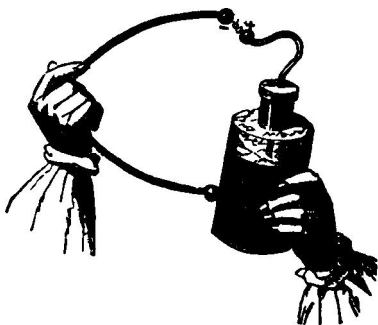
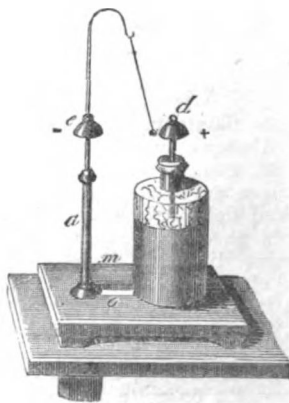



Fig. 508. Fig. 509.

l'eccitatore semplice, avendo cura di toccare *prima* l'armatura che si tiene in mano, altrimenti si riceverebbe la scossa. Per iscaricarla lentamente la si isola sopra un piatto di resina e si toccano alternativamente colla mano, o con un'asta di metallo prima l'armatura interna, poi l'esterna, e così di seguito, traendo a ciascun contatto una debole scintilla.

Per rendere più sensibile la scarica lenta, si dispone la bottiglia di Leyda come rappresenta la figura 509. L'asta è diritta, e munita di

un piccolo campanello; vicino alla bottiglia evvi un'asta metallica, che porta un secondo campanello simile al primo ed un pendolino elettrico, formato da una palla di ottone sospesa ad un filo di seta. Ciò posto, non essendo la bottiglia fissata alla tavoletta *m*, la si prende in mano per l'armatura esterna, e la si carica presentandola alla macchina elettrica; ed in seguito la si rimette sulla tavoletta. Siccome allora l'armatura interna contiene un eccesso di fluido positivo non neutralizzato, il pendolo è attratto e viene ad urtare contro il campanello della bottiglia; respinto in seguito, va a battere contro il secondo campanello e gli cede la sua elettricità; ma, ritornato allo stato neutro, è attratto di nuovo dal primo campanello, e così di seguito per più ore, se l'aria è secca e la bottiglia un po' grande.

652. **Bottiglia ad armature mobili.** — La *bottiglia ad armature mobili* serve a dimostrare che nella bottiglia di Leyda ed in tutti i condensatori, in generale, non è solo sulle armature che risiedono le due elettricità contrarie, ma principalmente sulle facce del vetro che le separa. Questa bottiglia, i differenti pezzi della quale si ponno separare, si compone di un gran vaso conico di vetro B (fig. 510), di una

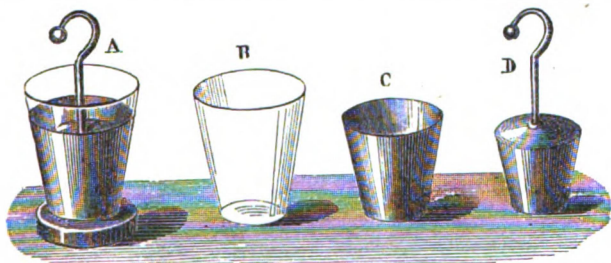



Fig. 510 (a. = 20).

armatura esterna C di latta, e di una armatura interna D della stessa materia. Questi pezzi, collocati gli uni negli altri, come mostra la fig. A, costituiscono una bottiglia di Leyda completa. Dopo di averla elettrizzata come la bottiglia ordinaria ed isolata sopra un piatto di resina (fig. A), se ne toglie colla mano l'armatura interna, in seguito il vaso di vetro, e finalmente l'armatura esterna, e si dispongono questi pezzi gli uni accanto gli altri, come rappresenta la figura. Ora, le due armature si trovano così evidentemente ricondotte allo stato neutro. Tuttavia, se rimettendo l'armatura C sul piatto di resina, le si ripone dentro il vaso di vetro, ed in questo l'armatura D, si ricostruisce una bottiglia di Leyda che dà una scintilla quasi tanto forte come se non si fossero scaricate le due armature.

Per render conto di questo fenomeno, si ammette ordinariamente che le due elettricità, obbedendo alla loro attrazione reciproca, abbandonino le armature per portarsi sulle due facce del vetro, dalle quali esse ripassano in seguito su queste stesse armature nel momento che si mettono in comunicazione. Ma, come si è già veduto per la scarica dei condensatori (647), il fenomeno deve spiegarsi piuttosto coll'elettrizzazione per influenza che prendono le pareti interne ed esterne del vetro

in presenza delle armature, elettrizzazione in virtù della quale queste pareti reagiscono alla loro volta sulle armature per elettrizzarle di nuovo appena si rimettono in sito.

653. **Giare e batterie elettriche.** — Una *giara* è una grande bottiglia di Leyda a collo abbastanza largo perchè si possa applicare alla sua parete interna una foglia di stagno che serve di armatura interna. L'asta che attraversa il turacciolo è diritta e terminata, alla parte inferiore, da una catena metallica che la pone in comunicazione colla foglia di stagno che forma l'armatura interna.

Una *batteria* è una riunione di parecchie giare poste in una cassa di legno (fig. 511), e che comunicano insieme, all'interno, mediante aste

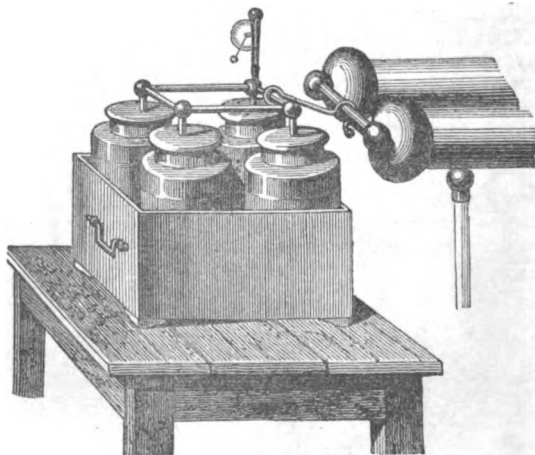



Fig 511.

metalliche, ed all'esterno mediante una foglia di stagno che riveste il fondo della cassa e si trova a contatto colle armature esterne delle giare. Questa stessa foglia di stagno si prolunga lateralmente fino ad incontrare due impugnature metalliche fisse sulle pareti della cassa. La batteria si carica, come mostra la figura 511, facendo comunicare le armature interne colla macchina elettrica e le armature esterne col suolo mediante il legno stesso della cassa e della tavola su cui è collocata la batteria, o, meglio ancora, mediante una catena metallica attaccata ad una delle impugnature della cassa. Un elettrometro a quadrante, fisso ad una delle giare, serve ad indicare la carica della batteria. Malgrado la grande quantità di elettricità accumulata nell'apparato, l'elettrometro non diverge che assai lentamente e di un piccolo numero di gradi; ciò che non deve punto arrecar meraviglia, poichè la divergenza non ha luogo che in forza della differenza di tensione fra le due armature. Il numero delle giare, in generale, è di quattro, sei, o nove. Quanto più esse sono grandi e numerose, tanto maggiore è il tempo che bisogna impiegare per caricare la batteria, ma i suoi effetti sono più possenti.

Allorchè si vuol scaricare una batteria si fanno comunicare fra loro le due armature mediante l'eccitatore, avendo cura di toccar prima l'armatura esterna. In questo caso bisogna far uso dell'eccitatore a manici di vetro, ed usare tutte le precauzioni necessarie per evitare la scossa; perchè con una forte batteria essa può produrre gravi accidenti e fin anche la morte.

Quando si vuol fulminare un animale od un oggetto qualunque, si fa uso dell'*eccitatore universale*, disegnato nella parte anteriore della figura 512. È una piccola cassa di legno che porta due colonnette di

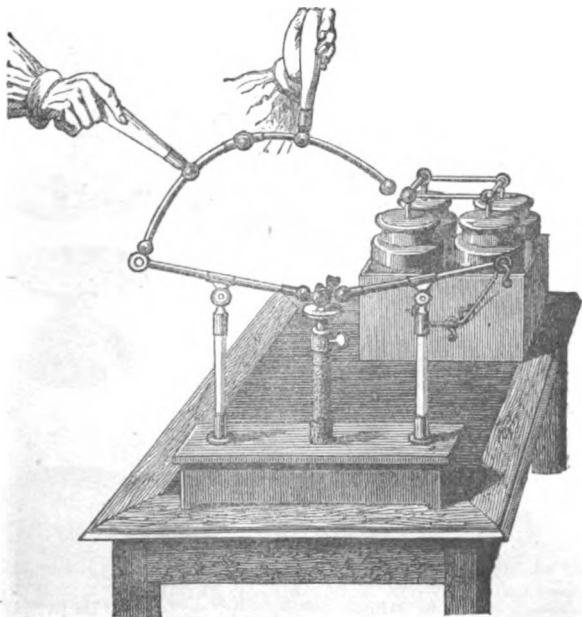



Fig. 512.

vetro sulle quali sono fermate a cerniera alcune aste di rame. Fra queste colonne avvi un sostegno di legno che porta un piccolo disco su cui si colloca l'oggetto o l'animale sul quale si vuol esperimentare. Trovandosi le due aste di rame dirette verso l'oggetto, si fa comunicare l'una di esse coll'armatura esterna della batteria, e l'altra con una delle sfere dell'eccitatore a manici di vetro. Avvicinando allora l'altra sfera di quest'ultimo all'armatnra interna, parte una scintilla fra questa sfera e l'armatura, ed un'altra fra le due braccia dell'eccitatore universale: quest'ultima fulmina l'oggetto o l'animale posto sul disco.

654. Elettrometro condensatore di Volta. — L'*elettrometro condensatore,* immaginato da Volta, altro non è che l'elettrometro a foglie d'oro già descritto (633), reso assai più sensibile per l'aggiunta di due dischi condensatori. L'asta di rame che porta le piccole foglie d'oro, invece di

essere terminata alla parte superiore da una sfera di ottone, è terminata da un disco dello stesso metallo, sul quale si pone un secondo disco simile, ma a manico di vetro. I due dischi sono ricoperti da una vernice di gomma-lacca che gli isola.

Per rendere sensibile, mediante quest' elettrometro, alcune quantità di elettricità anche debolissime, si fa comunicare il corpo sul quale si vuol riconoscere la presenza dell' elettricità stessa coll' uno dei dischi, che allora prende il nome di *disco collettore*, e si pone in comunicazione col suolo l'altro disco, toccandolo col dito leggermente umettato (fig. 513). L' elettricità del corpo sottoposto all' esperienza, si spande

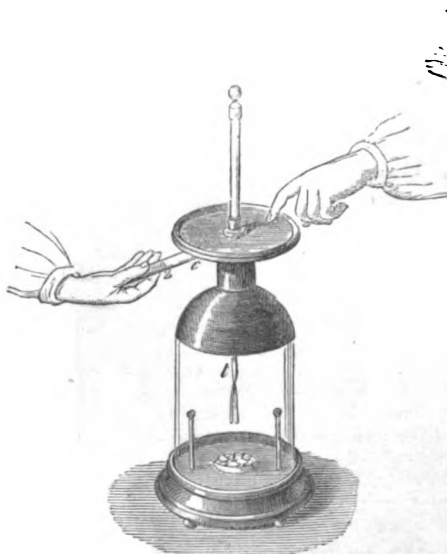



Fig. 513. Fig. 514 (a. = 48).

allora sul disco collettore, agisce, attraverso la vernice, sul secondo disco e sulla mano respingendo nel suolo l' elettricità dello stesso nome ed attraendo quella di nome contrario. I due fluidi si accumulano adunque sui due dischi, assolutamente come nel condensatore di Epino (646), ma senza che vi sia divergenza delle fogliette d' oro; perchè tutta l' elettricità è accumulata nei dischi. Caricato così l'apparato, si ritira dapprima il dito; quindi la sorgente elettrica, senza che si osservi ancora alcuna divergenza: ma se si toglie il disco superiore (fig. 514), l'elettricità del secondo disco distribuendosi egualmente sull'asta e sulle foglie d'oro, quest'ultime divergono fortemente. Si aumenta la divergenza adattando al piede dell'apparecchio due aste di rame terminate da due sfere dello stesso metallo, giacchè le sfere elettrizzandosi per influenza delle foglie d'oro, reagiscono su di esse.

EFFETTI DIVERSI DELL'ELETTRICITÀ STATICA

655. **Effetti fisiologici.** — Gli effetti dell'elettricità statica si dividono in effetti *fisiologici*, *luminosi*, *calorifici*, *meccanici* e *chimici*.

Gli *effetti fisiologici* sono quelli che l'elettricità produce sugli esseri viventi, od anche recentemente privati della vita; essi consistono, riguardo ai primi, in una violenta eccitazione che esercita il fluido elettrico sulla sensibilità e sulla contrattilità dei tessuti organici che attraversa, e riguardo ai secondi, in istantanee contrazioni muscolari, che simulano il ritorno alla vita. Per ora ci limiteremo a parlare degli effetti fisiologici esercitati dall'elettricità statica a forte tensione; più tardi descriveremo gli effetti fisiologici dell'elettricità dinamica.

Già si conosce la scossa che dà la scintilla della macchina elettrica (642). Questa scossa acquista assai maggiore intensità e carattere particolare quando si trae la scintilla da una bottiglia di Leyda, toccando con una mano la sua armatura esterna e coll'altra l'interna. Con una piccola bottiglia la scossa si fa sentire fino nel gomito; con una bottiglia della capacità di un litro la si risente fino nelle spalle, e fino nel petto con bottiglie più grandi.

La bottiglia di Leyda può dare la scossa simultaneamente ad un gran numero di persone. Per far ciò, queste debbono *formare la catena*, vale a dire darsi la mano l'una coll'altra senza interruzione; quindi, la prima toccando l'armatura esterna di una bottiglia già carica, e l'ultima contemporaneamente il bottone dell'armatura interna, ricevono tutte simultaneamente la scossa, che si può graduare a volontà caricando più o meno la bottiglia. L'abbate Nollet diede così la scossa a trecento uomini che la risentirono nello stesso tempo in modo violento nelle braccia e nel petto. Si osserva, in quest'esperienza, che gli uomini che trovansi in mezzo alla catena provano una scossa meno viva di quelli vicini alla bottiglia.

Colle grandi bottiglie di Leyda e le batterie, la scossa non si può più ricevere impunemente. Priestley uccise dei topi con batterie di cui ciascuna armatura aveva una superficie totale di 63 decimetri quadrati, e dei gatti con armature la cui superficie era di 3 metri e mezzo quadrati.

656. **Effetti luminosi, uovo elettrico.** — La ricomposizione delle due elettricità a forte tensione si opera sempre con uno sviluppo di luce più o meno intenso: questo avviene quando si traggono scintille dalla macchina elettrica, dalla bottiglia di Leyda e dalle batterie. Lo splendore della luce elettrica è tanto più vivo quanto più i corpi fra cui succede l'esplosione sono buoni conduttori, ed il suo colore varia, non solo secondo la natura dei corpi, ma anche secondo l'atmosfera ambiente e la pressione.

La scintilla che scocca tra due pezzetti di carbone è gialla; fra due palle di rame inargentato è verde; fra due sfere di legno o d'avorio è cremesì. Nell'aria, alla pressione ordinaria, la luce elettrica è bianca e brillante; nell'aria rarefatta è rossastra; nel vuoto è violacea, ciò che proviene dall'essere tanto minore la tensione che acquista quanto più debole è la resistenza che si oppone alla ricomposizione dei due fluidi. Nell'ossigeno, la scintilla è bianca come nell'aria; nell'idrogeno

è rossastra, e nel vapore di mercurio è verde; nell'acido carbonico è verde; nell'azoto è turchina o porporina, e accompagnata da un rumore particolare. In generale, la scintilla è tanto più splendente quanto maggiore è la tensione. Avendo Fusinieri dimostrato che nell'esplosione della scintilla elettrica vi ha sempre trasporto di particelle materiali allo stato di estrema tenuità, bisogna conchiudere che le modificazioni che presenta la luce elettrica sono dovute alla materia ponderabile trasportata.

Gli effetti della pressione dell'aria sulla vivacità della luce elettrica si studiano mediante l'*uovo elettrico*. Chiamasi così un globo di vetro sostenuto da un piede di ottone, nel quale vi sono due aste pure di

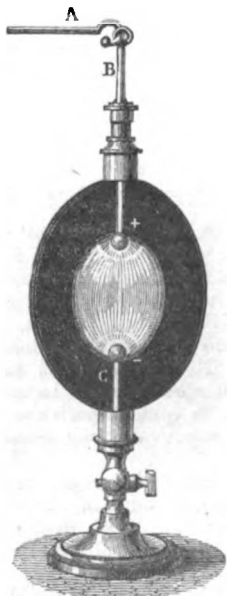
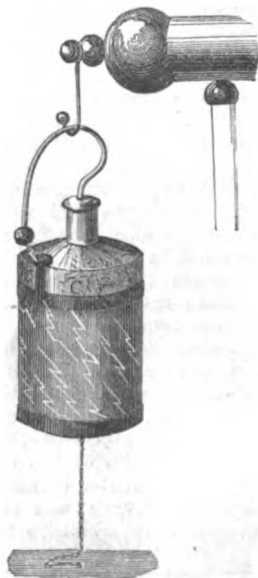



Fig. 515 (a. = (0).   Fig. 516.

ottone terminate da due sfere (fig. 515). L'asta inferiore è fissa, e la superficie scorre a sfegamento in una scatola a cuoio, in modo che può essere avvicinata alla prima od allontanata a volontà. Ciò posto, fatto il vuoto nel globo, mediante la macchina pneumatica alla quale può essere unito a vite, si fa comunicare l'asta superiore con una forte macchina elettrica, ed il piede col suolo. Se allora si carica la macchina, si osserva da una palla all'altra una luce violacea, poco intensa e continua, che è dovuta alla ricomposizione del fluido positivo della palla superiore col fluido negativo dell'inferiore Se si lascia rientrare l'aria a poco a poco, mediante un robinetto adattato al piede del apparato, la tensione aumenta coll'aumentar della resistenza, e la luce, che ritorna bianca e brillante, non appare più che sotto forma di scintilla ordinaria.

657. Bottiglia scintillante, tubo scintillante, quadro magico. — Vennero immaginati numerosi apparati per mostrare gli effetti luminosi della elettricità; tali sono la *bottiglia scintillante*, il *tubo scintillante*, il *quadro magico*.

La *bottiglia scintillante* è una bottiglia di Leyda, la cui armatura estrema è formata da uno strato di vernice ricoperta da polvere metallica. Una lista di stagno applicata all'orlo inferiore della bottiglia

Fig. 517.

è in comunicazione col suolo mediante una catena di metallo (fig. 516); una seconda lista posta più in alto porta un appendice, che arriva alla distanza di due centimetri circa dall'uncino, il quale è assai curvo. Di mano in mano che si carica la macchina elettrica alla quale è sospesa

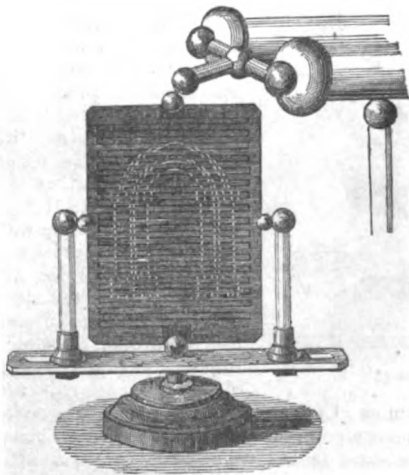



Fig. 518 (a. = 41).

questa bottiglia, come si vede nella figura, la scintilla scocca fra l'uncino e l'armatura, e su tutto il contorno dell'apparato risplendono lunghe e brillanti scintille.

Il *tubo scintillante* è formato da un tubo di vetro della lunghezza di circa un metro, sul quale si applicò una serie di fogliette di sta-

gno tagliate in forma romboidale e disposte ad elice lunghesso tutto il tubo, in modo da non lasciare fra esse che alcune soluzioni di continuità assai piccole. Alle estremità vi sono due viere di ottone con un uncino, che comunicano coi due capi dell'elice. Ciò posto, se, tenendo il tubo per una estremità, si presenta l'altra ad una macchina elettrica, come mostra la figura 517, ad ogni soluzione di continuità, scoccano simultaneamente delle scintille che producono una brillante striscia luminosa specialmente nell'oscurità.

Il *quadro magico*, fondato sullo stesso principio del tubo scintillante, si compone di una lastra di vetro comune, sulla quale si fece aderire una lista di stagno assai stretta, ripiegata un gran numero di volte parallelamente a sè stessa, come mostra il segno nero rappresentato nella figura 518. Sopra questa lista di stagno si praticano, mediante un istrumento tagliente, delle soluzioni di continuità assai piccole, disposte in modo da rappresentare un oggetto determinato, per es. un portico, un fiore, ecc.; quindi, fissando il quadro fra due colonne di vetro, si pone l'estremità superiore della lista di stagno in comunicazione colla macchina elettrica e l'altra estremità col suolo. Facendo ruotare allora il disco della macchina, la scintilla scocca a ciascuna soluzione di continuità, e riproduce in tratti luminosi l'oggetto che si disegnò sul vetro.

658. **Effetti calorifici.** — La scintilla elettrica non è soltanto luminosa, ma è anche una sorgente assai intensa di calore. Attraversando i liquidi combustibili come l'alcool, l'etere, essa li infiamma; nello stesso modo agisce sulla polvere da cannone, sulla resina polverizzata, e fonde persino i metalli; in quest'ultimo caso però è necessaria una batteria potente. Una bottiglia di Leyda ordinaria basta per infiammare l'alcool o l'etere mediante un piccolo apparato rappresentato dalla fig. 519. Esso è un piccolo vaso di vetro, il fondo del quale è attraversato da un'astina di rame a bottone, fissa ad un piede dello stesso metallo. Versato il liquido nel vaso in modo che il bottone ne sia interamente ricoperto, si presenta a questo l'uncino di una bottiglia di Leyda carica, avendo cura di far comunicare il piede di rame coll'armatura esterna mediante filo metallico. Siccome questo filo ed il piede del vaso fanno l'ufficio di eccitatore, la scintilla scocca attraverso il liquido e l'infiamma. Coll'etere, l'esperienza riesce assai bene; ma per riescirvi facilmente coll'alcool bisogna dapprima riscaldarlo un poco.

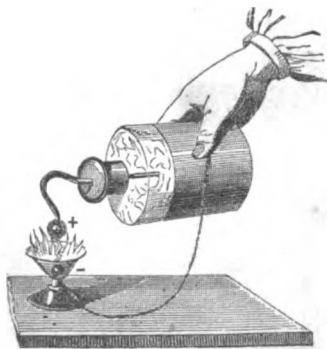



Fig. 519 (a. = 23).

Allorchè si fa passare la scarica di una batteria attraverso un filo di ferro o di acciaio, esso diviene incandescente ed abbrucia con una luce abbagliante. I fili di platino, d'oro e d'argento vengono fusi e volatilizzati. Van-Marum, con una forte macchina a due dischi e con una possente batteria, fuse un filo di ferro della lunghezza di 16 metri.

Se si sottopone alla scarica di una batteria una foglia d'oro isolata fra due lastre di vetro, o fra due nastri di seta, l'oro è volatilizzato, e si ha per residuo una polvere violetta, la quale non è altro che oro estremamente diviso. In tal guisa si fanno i *ritratti elettrici*.

659. **Effetti meccanici.** — Gli effetti meccanici sono lacerazioni, rotture, espansioni violente che risultano nei corpi poco conduttori per passaggio di una forte scarica elettrica. Il vetro è forato; il legno, le pietre sono spezzate; i gas ed i liquidi vengono fortemente scossi. Gli effetti meccanici della scintilla elettrica si dimostrano mediante differenti apparati, che sono il *buca-vetro*, il *buca-carta*, il *termometro di Kinnersley* e l'*eccitatore universale*.

Il buca-vetro, rappresentato dalla figura 520, si compone di due colonne di vetro, le quali, mediante un traverso orizzontale, sostengono un conduttore B che termina in punta. La lastra di vetro A che si

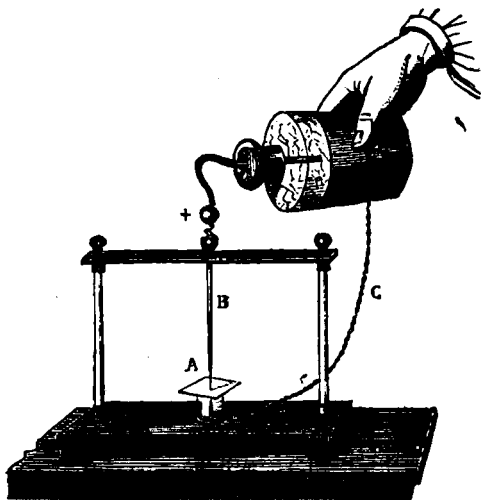



Fig. 520 (a. = 23).

vuol bucare, riposa sopra un cilindro isolante di vetro, nel quale trovasi un secondo conduttore pure terminato in punta. Posto quest'ultimo in comunicazione, mediante un filo metallico, coll'armatura esterna di una forte bottiglia di Leyda, si accosta l'uncino della bottiglia stessa al bottone del conduttore B. La scintilla scocca allora fra i due conduttori, ed il vetro vien forato. Tuttavia questa esperienza riesce con una bottiglia di Leyda non molto ampia, solo quando la lastra di vetro è assai sottile. Lo stesso apparato serve assai bene anche come buca-carta.

Lo scuotimento e l'espansione istantanea che la scintilla elettrica fa nascere nei gas si dimostra mediante il termometro di Kinnersley. Quest'apparato si compone di un grosso tubo di vetro fissato alle sue estremità, mediante mastice, a due viere di ottone che lo chiudono esattamente e che sostengono due conduttori terminati a sfera, l'uno fisso e l'altro scorrevole ad arbitrio in una scatola di cuoio (fig. 521). Dalla base dell'apparato si diparte un altro tubo laterale aperto alla sua parte superiore.

Ciò posto, levata la scattola di cuoio, si versa dell'acqua nel tubo più grosso, fintanto che il livello di essa si trovi un poco al disotto della sfera inferiore; chiudendo allora la scattola di cuoio si fa passare la scarica di una bottiglia di Leyda fra le due sfere operando come mostra la figura. L'acqua, istantaneamente respinta fuori del tubo più grosso, si innalza di due centimetri circa nel tubo piccolo; ma il livello tosto si ristabilisce, ciò che dimostra che il fenomeno non è dovuto ad una elevazione di temperatura, e che la denominazione di termometro data a quest'apparato è falsa.

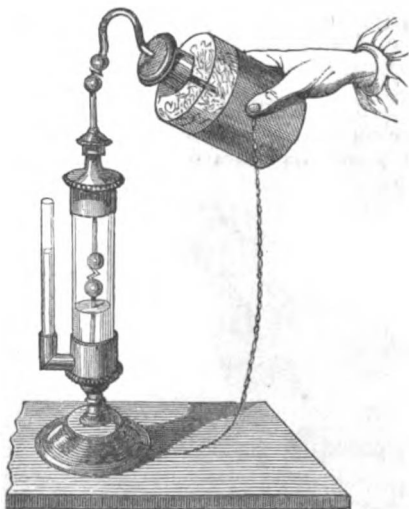



Fig. 521 (a. = 28).

L'eccitatore universale, già descritto parlando delle batterie, e rappresentato dalla figura 512, serve pure ad ottenere degli effetti meccanici. Se per es. si vuol rompere un pezzo di legno, lo si pone sul piccolo disco ove si è rappresentato un uccello, in modo che tocchi le due sfere dei conduttori. Se allora si fa passare la scarica, il pezzo di legno vola in ischeggie.

660. **Effetti chimici.** — Gli effetti chimici dell'elettricità sono combinazioni e decomposizioni prodotte nei corpi dalla scintilla elettrica quando li attraversa. Per es., allorquando due gas sono mescolati presso a poco nel rapporto, secondo il quale si forma la loro combinazione, una sola scintilla basta a determinarla; ma se la mescolanza è lontana da questo rapporto, la combinazione esige una lunga serie di scintille. Priestley, pel primo, riconobbe che allorquando si fan passare per lungo tempo delle scintille elettriche attraverso ad una data quantità d'aria atmosferica, il suo volume diminuisce, e la tintura di tornasole introdotta nel vaso che la contiene arrossa. Cavendish, avendo ripetuta questa esperienza con cura, trovò che in presenza dell'acqua o delle basi si formava dell'acido azotico, risultante dalla combinazione dell'ossigeno coll'azoto dell'aria.

Un gran numero di gas vengono decomposti dall'azione continua della scintilla elettrica. L'idrogeno carbonato, l'acido solfidrico, l'ammoniaca si decompongono compiutamente; l'acido carbonico si decompone solo in parte risolvendosi in ossigeno ed in ossido di carbonio. La scintilla della macchina decompone anche gli ossidi, l'acqua ed i sali; tuttavia, l'elettricità statica è lungi dal presentare gli effetti chimici così energici e svariati che offre l'elettricità dinamica.

661. **Pistola di Volta.** — La *pistola di Volta* è un piccolo apparato che serve a dimostrare gli effetti chimici della scintilla elettrica. Esso si compone di un vaso di latta (fig. 522), nel quale si introduce una

mescolanza detonante composta di due volumi di idrogeno e di un volume di ossigeno, poi lo si chiude esattamente con un turacciolo di sughero. Sulla parete laterale avvi una tubulatura nella quale passa un'asta metallica terminata da due piccole sfere A e B, fissata con mastice in un tubo di vetro che la isola da tutto il resto dello strumento.

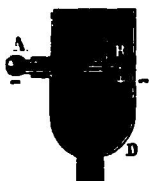
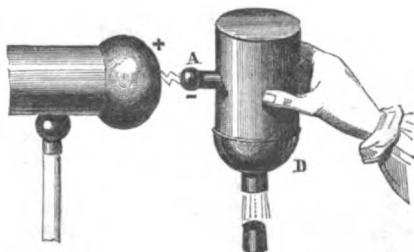



Fig. 522. Fig. 523 (a. = 11).

Ciò posto, tenendo il vaso in mano, come mostra la figura 523, lo si avvicina alla macchina elettrica. Il bottone A elettrizzandosi allora negativamente per influenza, ed il bottone B positivamente, la scintilla scocca fra il bottone A e la macchina: nel medesimo istante una seconda scintilla scocca pure fra il bottone B e la parete del vaso che comunica col suolo mediante la mano. È quest'ultima scintilla che determina la combinazione dei due gas. Essendo questa combinazione accompagnata da vivo sviluppo di calorico (477), il vapore di acqua che vi si forma acquista una forza espansiva tale, che il turacciolo viene slanciato con detonazione analoga a quella di un colpo di pistola.

662. **Eudiometro.** — Gli *eudiometri*, di cui si serve in chimica per fare l'analisi dei gas, sono essi pure apparati fondati sugli effetti chimici dell'elettricità.

Questi apparati ricevettero diverse modificazioni: la figura 524 rappresenta l'eudiometro più semplice. Esso si compone di una provetta di cristallo a pareti assai grosse. L'estremità chiusa della provetta è attraversata da un'asta di ferro o di ottone, terminata da due sfere *m* ed *n*, l'una esterna, l'altra interna. Vicino alla sfera interna *n* avvene una seconda *a*, alla quale è fissato un filo di ferro o di ottone ripiegato ad elice, che si prolunga fino alla parte aperta dell'eudiometro.

Ciò posto, per fare con questo istrumento l'analisi di una mescolanza gasosa, per es. dell'aria, lo si riempie prima di acqua; quindi, così riempito, lo si capovolge sopra una vaschetta d'acqua, e vi si fanno passare mediante un imbuto, 100 parti d'aria e 100 parti di idrogeno già misurato con un tubo graduato. Si chiude in seguito l'eudiometro col pollice, come mostra la figura, avendo cura di porlo in comunicazione col filo ad elice che trovasi nell'interno dell'eudiometro. Se un'altra persona avvicina allora il disco dell'elettroforo (634) alla sfera *m*, una scintilla scocca fra quest'ultimo ed il disco A nel tempo istesso che un'altra scintilla scocca fra le due sfere *n* ed *a*. Quest'ultima scintilla è quella che determina, con viva luce, la combinazione dell'ossigeno e dell'idrogeno che si trovano nell'eudiometro, e forma l'acqua. Se allora si misura,

facendolo passare in un tubo graduato, il gas che rimane nell'istrumento, si trova che il suo volume è 137; sono adunque sparite 63

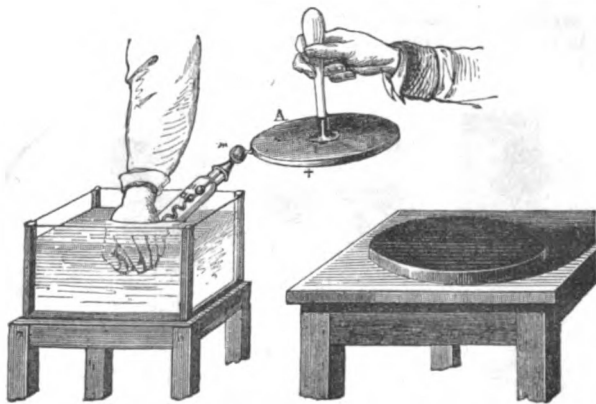



Fig. 521.

parti di mescolanza gasosa, e siccome si sa che l'acqua è formata da 2 volumi di idrogeno per 1 di ossigeno, ne segue che il terzo di 63, ossia 21, è il volume di ossigeno contenuto in 100 parti d'aria.

LIBRO X.

ELETTRICITÀ DINAMICA

CAPITOLO PRIMO

PILA VOLTIANA; SUE MODIFICAZIONI

663. **Esperienza e teoria di Galvani.** — È dovuta a Galvani, professore d'anatomia a Bologna, l'esperienza fondamentale che condusse alla scoperta dell'elettricità dinamica (611) o del *galvanismo*, nuovo ramo della fisica tanto importante per le innumerevoli applicazioni che se ne fecero da un mezzo secolo a questa parte.

Galvani studiava da parecchi anni l'influenza della elettricità sulla irritabilità nervosa degli animali e principalmente della rana, quando nel 1786 avendo posti in comunicazione per mezzo di un circuito metallico i nervi lombari di una rana morta coi muscoli della coscia, osservò che questi si contrassero con violenza.

Per ripetere l'esperienza di Galvani, si scortica una rana ancor viva e la si taglia al disotto delle estremità anteriori (fig. 525); poi, dopo aver posti a nudo i nervi lombari, i quali sono situati ai lati della colonna vertebrale ed hanno la forma di cordoncini bianchi, si prende un conduttore metallico formato di due archi, l'uno di zinco e l'altro di rame, ed introducendone uno fra i nervi e la colonna vertebrale, si mette l'altro a contatto coi muscoli di una coscia o di una gamba. Ad ogni contatto i muscoli si contraggono e si agitano, e sembra che questa mezza rana riacquisti la vita e voglia saltare.

Galvani, il quale aveva già riconosciuto, nel 1780, che l'elettricità delle macchine elettriche produceva sulle rane morte analoghe contrazioni, attribuì il fenomeno or ora descritto all'esistenza di una elettricità inerente all'animale; ammise che questa elettricità, che chiamò

fluido vitale, circolando dai nervi ai muscoli, attraverso il circuito metallico producesse contrazione.

Molti scienziati e specialmente i fisiologi adottarono la teoria di Galvani sotto il nome di *elettricità animale* o *fluido galvanico*. Sorsero

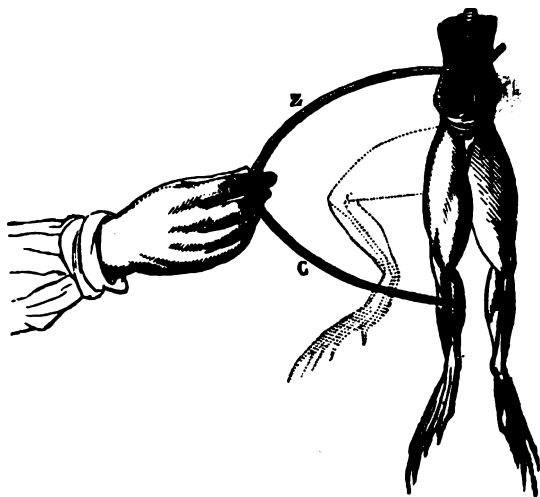



Fig. 525.

però molti oppositori, tra i quali il più ardente fu Volta, professore di fisica a Pavia, già conosciuto per l'invenzione dell'elettroforo, dell'elettrometro condensatore e dell'eudiometro.

664. **Esperienza di Volta.** — Galvani aveva portata la sua attenzione soltanto sui nervi e sui muscoli delle rana; Volta la portò anche sui metalli che servono a stabilire la comunicazione. Fondandosi sul fatto osservato anche da Galvani che la contrazione muscolare è molto più energica quando l'arco consta di due metalli, che non allorquando è composto di un solo, Volta attribuì ai metalli la parte attiva nel fenomeno della contrazione. Egli ammetteva che per effetto del loro contatto si sviluppasse dell'elettricità, e che le parti animali servissero soltanto di conduttore ed in pari tempo di elettroscopio assai sensibile.

Parve infatti che Volta, per mezzo dell'elettrometro condensatore, poco prima da lui inventato, dimostrasse con numerose esperienze lo svolgimento di elettricità col contatto dei metalli. Noi citeremo soltanto la seguente facile a ripetersi: avendo saldato insieme pei loro estremi due laminette strette, di rame l'una e l'altra di zinco, si colloca il dito bagnato sul piatto superiore dell'elettrometro condensatore (fig. 513, pag. 544), poi, tenendo la laminetta di zinco coll'altra mano, si tocca il piatto inferiore con la lastra di rame; interrompendo in seguito le comunicazioni e togliendo il piatto superiore (fig. 514), le foglie d'oro divergono, e si riconosce che sono elettrizzate negativamente, ciò che

induce ad ammettere che il rame e lo zinco, pel loro contatto, si sono caricati il primo di elettricità negativa ed il secondo di elettricità positiva. Del resto, in questa esperienza l'elettricità non può essere attribuita allo strofinamento od alla pressione, perchè se, capovolgendo le lamine C Z, si tocca il disco del condensatore che è di rame, colla lamina di zinco Z, tenendo in mano la lamina di rame C che ad essa è saldata, non si ottiene alcuna traccia di elettricità, la lamina di zinco essendo in contatto con rame a' suoi due estremi.

Allora si impegnò una memorabile lotta tra Volta e Galvani. Questi sostenendo con profonda convinzione la sua teoria dell'elettricità animale, mostrò che la presenza dei due metalli non era indispensabile alla produzione del fenomeno, e che si ottengono delle contrazioni collocando sopra un bagno di mercurio purissimo una rana morta e preparata di fresco. Finalmente, mostrò che avvicinando i nervi lombari della rana ai muscoli crurali, si produce, al momento del contatto, una viva contrazione. Ora, in quest'ultima esperienza, i metalli non avevano più alcuna parte, e la teoria di Galvani sembrava vittoriosa; ma Volta allora la combattè dando maggiore estensione alla sua teoria del contatto, e ponendo per principio generale, che *due sostanze eterogenee quali si vogliano, posti in contatto, si costituiscono sempre l'una allo stato di elettricità positiva, l'altra allo stato di elettricità negativa.*

Tuttavia Galvani fece un' ultima esperienza nella quale era impossibile ammettere un effetto di contatto, perchè poneva a contatto soltanto sostanze omogenee. Collocò sopra un disco di vetro una coscia di rana munita del suo nervo lombare, ed accanto ad essa una seconda coscia disposta nello stesso modo: avendo posto il nervo della seconda su quello della prima in modo che si toccassero i soli nervi, pose a contatto le due cosce ed ottenne una forte contrazione. Galvani era giunto adunque a dimostrare l'esistenza della elettricità animale, posta in evidenza ai nostri giorni da Matteucci sotto il nome di *corrente propria* della rana.

665. **Teoria di Volta.** — Volta, fisico innanzi tutto, non considerando che le condizioni fisiche del problema, rigettò la teoria dell'elettricità animale, ed ammise esclusivamente la teoria del contatto, la quale può formularsi nei due principii seguenti:

1.° Il contatto di due corpi eterogenei dà sempre origine ad una forza che Volta chiamò *forza elettro-motrice*, e che ha per carattere non solo di decomporre una parte della loro elettricità naturale, ma ben anche di opporsi alla ricomposizione delle due elettricità contrarie accumulate sui due corpi in contatto.

2.° Quando due sostanze eterogenee si trovano in contatto, la differenza algebrica del loro stato elettrico è costante, per gli stessi corpi, in qualunque condizione vengan posti, ed uguale alla forza elettro-motrice. Vale a dire che se si toglie ai due corpi o si comunica loro una quantità qualunque di elettricità, la differenza fra i loro stati elettrici relativi non è modificata: nel primo caso la forza elettro-motrice, riproduce immediatamente una quantità di elettricità eguale a quella che venne sottratta; nel secondo caso, l'eccesso di elettricità comunicata si distribuisce ugualmente sui due corpi, d'onde risulta che la differenza fra i due stati elettrici rimane la stessa. Se, per es., si pongono a contatto due dischi l'uno di zinco, l'altro di rame, isolati ambedue, e si rappresenta con + 1 l'elettricità positiva del zinco e con — 1 l'elettricità negativa del rame, comunicando a questo sistema una quantità

d'elettricità positiva 20, si avrà sullo zinco 20 + 1, ossia 21, e sul rame 20 — 1, ossia 19. Ora, la differenza fra gli stati elettrici + 1 e — 1 che era 2, è ancora 2 fra gli stati elettrici 21 e 19.

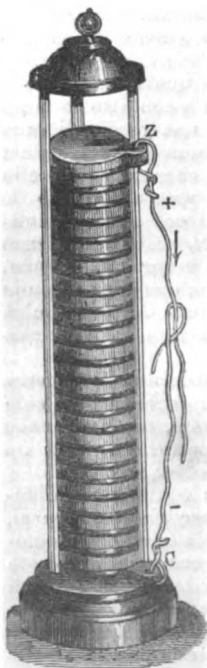
Siccome la forza elettro-motrice ammessa da Volta sembra che non sviluppi l'egual quantità di elettricità pel contatto di ogni sostanza, questo fisico divise i corpi in *buoni elettro-motori* e *deboli elettro-motori*. Alla prima classe appartengono i metalli ed il carbone sottoposto ad una temperatura molto elevata; alla seconda appartengono i liquidi ed in generale i corpi non metallici. Gli stessi metalli non sono tutti egualmente buoni elettro-motori; lo zinco ed il rame saldati insieme sono i migliori. Finalmente, la specie di elettricità sviluppata cambia colla natura delle sostanze poste a contatto. Lo zinco, il ferro, lo stagno, il piombo, il bismuto e l'antimonio si elettrizzano positivamente pel contatto col rame; nello stesso caso, l'oro, l'argento ed il platino si elettrizzano negativamente.

Volta, fondandosi sulla teoria del contatto, fu condotto ad inventare il maraviglioso apparato che ha immortalizzato il suo nome. Questa teoria però non tardò molto ad incontrare essa pure, al pari di quella di Galvani, numerosi oppositori, e lo svolgimento di elettricità che Volta attribuiva al contatto, viene oggidì, come faremo conoscere in seguito (675), attribuito unicamente alle azioni chimiche.

Fig. 526.

666. **Pila di Volta.** — Si dà il nome generale di *pila* ad ogni apparato che serve a svolgere dell'elettricità dinamica. Il primo apparato di questo genere, inventato da Volta nel 1800, si compone di una serie di dischi sovrapposti gli uni agli altri nell'ordine seguente: un disco di rame, un disco di zinco ed una rotella di panno bagnata in acqua acidulata, poi ancora un disco di rame, un disco di zinco ed una rotella di panno, e così di seguito sempre nello stesso ordine, come mostra la fig. 526. Da ciò la denominazione di pila che si conservò, quantunque quest'apparato abbia ricevute disposizioni affatto differenti. Ordinariamente si saldano insieme a due a due i dischi di zinco e di rame in modo da formare delle *coppie* separate da rotelle umide e mantenute in posizione verticale da tre cilindri di vetro, come mostra la figura. Questo apparato, a motivo della sua forma, venne detto *pila a colonna*.

La distribuzione dell'elettricità in questa pila è diversa secondo che trovasi in comunicazione col suolo con uno de' suoi capi, ovvero è isolata; ciò che si ottiene collocandola sopra un disco di vetro o di resina.

Nel primo caso l'esperienza mostra che l'estremità posta in comunicazione col suolo trovasi allo stato naturale, e che il resto della pila ha una sola specie di elettricità la quale è positiva se l'estremità della pila che comunica col suolo è di rame, negativa se di zinco. La tensione, secondo la teoria di Volta

(665, 2.°), dovrebbe crescere proporzionalmente al numero delle coppie; l'esperienza però dimostra che l'incremento è minore.

La distribuzione dell'elettricità è differente nella pila isolata. In questo caso, per mezzo del piano di prova e dell'elettrometro, si riconosce che la parte media trovasi allo stato neutro, che le estremità della pila sono cariche l'una di elettricità negativa, e che la tensione cresce partendo dal mezzo fino alle estremità. La metà terminata da uno zinco è carica di elettricità positiva, e quella terminata da un rame è carica di elettricità negativa. Vedremo nella teoria chimica (677), quale sia la causa di questa distribuzione dell'elettricità nella pila.

667. **Tensione della pila.** — La *tensione* di una pila è la tendenza della elettricità, accumulata alle estremità, a svilupparsi ed a vincere gli ostacoli che si oppongono alla sua diffusione. Non si deve confondere la tensione di una pila colla *quantità* di elettricità ch'essa può sviluppare. La tensione dipende principalmente dal numero delle coppie, mentre la quantità di elettricità, quando le altre circostanze siano eguali, cresce colla superficie delle coppie. Quanto più questa superficie è grande, tanto maggiore, a tensione uguale, è la quantità di elettricità che circola nella pila. Questa quantità cresce anche colla conducibilità del liquido interposto fra le coppie. La tensione, al contrario, è indipendente dalla natura di questo liquido.

Se la pila non è composta di un numero di coppie assai grande, la tensione alle sue estremità è sempre molto più debole che nelle macchine elettriche. Infatti, ciascuna estremità presa separatamente, non solo dà scintilla, ma non attrae nemmeno i corpi leggeri. Soltanto per mezzo dell'elettrometro condensatore a foglie d'oro, si giunge a rendere sensibile la tensione. Per ciò si fa comunicare uno dei piatti dell'elettrometro con una delle estremità della pila e l'altro coll'altra estremità o col suolo. Allora l'apparato si carica istantaneamente, ed interrompendo le comunicazioni si vedono divergere le foglie d'oro. Si può anche caricare una bottiglia di Leyda facendo comunicare l'armatura interna con una delle estremità della pila, e l'armatura esterna coll'altra; ma questa carica è molto più debole di quella fornita dalla macchina elettrica.

668. **Poli, elettrodi, correnti.** — In una pila chiamasi *polo positivo* l'estremità ove tende ad accumularsi il fluido positivo, e *polo negativo* quella ove tende ad accumularsi il fluido negativo. L'ultimo zinco tende ad essere il polo positivo e l'ultimo rame il polo negativo; ma siccome abbiamo veduto (666) che nella pila a colonna si può sopprimere l'ultimo zinco senza cangiare la distribuzione dell'elettricità, in modo che ciascun polo allora corrisponda ad un rame, e siccome lo stesso avverrà nelle diverse pile che ci restano a far conoscere, ne risulta che indicando i poli coi nomi dei metalli ai quali esse corrispondono ne potrebbe nascere confusione. Insomma, i poli non devono essere determinati dalla natura dei metalli che terminano la pila, ma dall'ordine in cui sono disposti questi metalli, cioè il polo positivo è sempre situato all'estremità verso la quale sono rivolti gli zinchi di ciascuna coppia, ed il polo negativo all'estremità verso la quale sono rivolti tutti i rami.

Chiamansi *elettrodri* o *reofori* due fili metallici fissati ai poli della pila (fig. 526) e destinati a farli comunicare fra loro, in modo che le estremità di questi fili diventano esse medesime i poli.

Finalmente, indicasi col nome di *corrente* la ricomposizione delle elettricità contrarie che si opera da un polo all'altro della pila quando comunicano fra loro per mezzo di elettrodi o di un corpo conduttore qualunque. Gli effetti delle pile dimostrano che le correnti sono continue, donde si desume che a misura che le due elettricità si riuniscono per mezzo del filo congiuntivo, la forza elettro-motrice, o piuttosto l'azione chimica, decompone una nuova quantità di elettricità naturale nella pila.

Ordinariamente si ammette in una corrente una direzione determinata, supponendo che essa si porti dal polo positivo al negativo negli elettrodi, e dal polo negativo al positivo nell'interno della pila; questa però non è che una convenzione, perchè la ricomposizione si opera egualmente dal polo positivo al polo negativo, e dal polo negativo al positivo. In ogni caso la corrente non incomincia che al momento in cui i due poli sono posti in comunicazione per mezzo di un corpo conduttore, ciò che si esprime col dire che la *corrente è chiusa*. Allora cessano tutte le proprietà dell'elettricità allo stato di tensione, ma se ne manifestano delle nuove che caratterizzano le correnti e che verranno descritte parlando degli effetti della pila.

DIVERSE MODIFICAZIONI DELLA PILA

669. **Pila a truogoli.** — La pila di Volta ha ricevuto diverse disposizioni. Quella da noi testè descritta (666), presenta l'inconveniente che le rotelle di stoffa, compresse dal peso dei dischi, lasciano effluire il liquido di cui sono inzuppate. Perciò fu tosto adottata la *pila a truogoli*, la quale è, per così dire, una pila a colonna orizzontale. Essa si compone di una cassa rettangolare di legno intonacata internamente di un mastice isolante (fig. 527). Le lastre di zinco e di rame, saldate tra loro

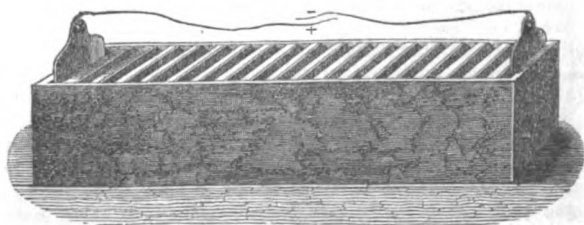



Fig. 527.

a due a due, formano delle coppie che hanno una grandezza uguale alla sezione interna della cassa, e sono fissate nel mastice in modo che fra una coppia e l'altra vi sia un piccolo intervallo, onde risultano altrettanti compartimenti o *truogoli*. In questi ultimi si versa una mescolanza d'acqua e d'acido solforico, la quale produce l'effetto delle rotelle nella pila a colonna; i due poli comunicano fra loro per mezzo di fili metallici fissati alle due lastre di rame immerse nei due ultimi

truogoli. Si vedrà fra poco (677) la teoria chimica di questa pila, la quale è la stessa di quella della pila a colonne e della pila di Wollaston.

670. **Pila di Wollaston.** — La *pila di Wollaston* o *pila a tazze*, è un'altra modificazione della pila di Volta, ma una modificazione importante, perchè essa è disposta in modo da poter facilmente mettere in attività la pila soltanto al momento che si vuol utilizzare la corrente. La figura 528 mostra una sezione verticale di due coppie di pila di Wollaston, e la figura 529 rappresenta separatamente lo zinco ed il rame destinati a venir immersi in uno stesso vaso. Le lastre di zinco Z

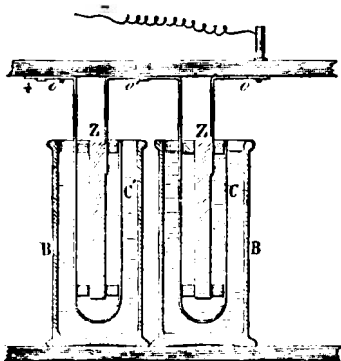
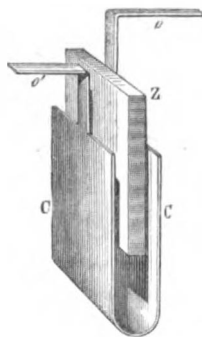



Fig. 528. Fig. 529.

sono tagliate rettangolari della grossezza di 4 a 5 millimetri, per circa 20 centimetri di altezza e 15 di larghezza. Le lastre di rame sono foglie sottili C della stessa larghezza delle lamine di zinco, e ricurvate in modo da involgere queste dalle due facce, ma senza toccarle, essendo mantenute a distanza da piccoli pezzi di sughero o di legno. Da ciascuna foglia di rame parte una laminetta stretta *o* che si prolunga, e ricurvandosi due volte ad angolo retto, va a saldarsi allo zinco della coppia seguente. La figura 528 fa vedere come la prima lamina stretta *o* è saldata al primo zinco Z; poi come intorno di quest'ultima si ricurva la lamina di rame C, della stessa larghezza dello zinco, la quale, terminando con una lamina stretta *o'*, va a saldarsi alla seconda di zinco Z'; e così di seguito, in modo da riunire altrettante coppie quante si vogliono. Finalmente, queste lamine zinco e rame sono immerse tutte due in tazze strette riempite di acqua acidulata.

La figura qui sopra rappresenta una pila di 16 coppie unite parallelamente in due serie di 8. Il primo rame C, essendo saldato ad uno zinco, rappresenta il polo negativo. Il polo positivo corrisponde all'ultimo rame *m*, il quale non essendo a contatto con verun zinco, non fa che togliere al liquido il fluido positivo che gli è fornito dall'ultima coppia. Siccome tutte le coppie sono fissate ad una traversa di legno, la quale può essere innalzata od abbassata a volontà fra quattro sostegui, la si solleva tosto che si vuol far cessare l'azione della pila. Or-

dinariamente l'acqua delle tazze contiene $\frac{1}{16}$ d'acido solforico ed $\frac{1}{20}$ di acido azotico: quest'ultimo rende la corrente più costante cedendo del-

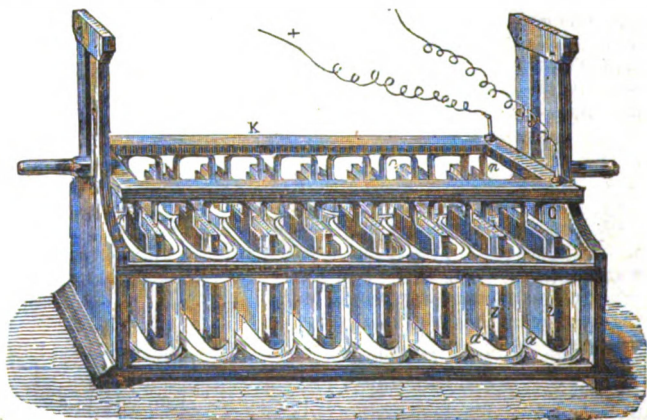



Fig. 530 (l. = 85).

l'ossigeno all'idrogeno che proviene dalla decomposizione dell'acqua, ed opponendosi così a un deposito nocivo sul rame delle coppie (678).

671. **Pila di Münch.** — Münch, professore di fisica a Strasburgo, diede alla pila di Wollaston una disposizione più semplice, facendo immer-

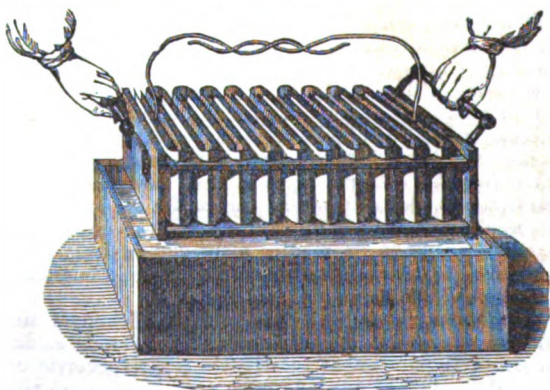



Fig. 531 (l. = 61).

gere tutte le coppie in un sol truogolo di legno rivestito internamente di mastice. La figura 531, la quale rappresenta una pila di 20 coppie,

mostra come le piastre di queste coppie siano unite verticalmente. Le lastre bianche sono quelle di zinco, le altre quelle di rame. Questa pila, sotto piccolo volume, dà effetti energici ma poco costanti.

Nelle diverse pile or ora descritte si dà alle piastre di zinco maggior grossezza che non a quelle di rame, perchè il primo di questi metalli è il solo che vien intaccato dall'acido solforico.

672. **Pile secche.** — Le *pile secche* sono vere pile a colonna, nelle quali le rotelle inzuppate d'acqua acidulata sono sostituite da una sostanza solida igrometrica. Se ne costrussero di diverse specie: nella pila di Zamboni, che è la più usitata, i metalli elettro-motori sono lo stagno o l'argento ed il biossido di manganese. Per costruire questa pila si prende un foglio di carta inargentata o coperta di stagno ad una delle due facce, e sull'altra si fissa, per mezzo di un corpo grasso, del biossido di manganese ben lavato. Sovrapposti sette od otto di questi fogli, se ne tagliano, con uno stampo, dei dischi di 25 millimetri di diametro circa, e si sovrappongono questi dischi nello stesso ordine, in modo che l'argento o lo stagno di ciascun disco si trovi a contatto col manganese del disco successivo. Sovrapposte così 1200 a 1800 coppie, si termina la pila a ciascuna estremità con un disco di rame, e si lega strettamente con fili di seta tutto il sistema per istabilir meglio i contatti. Allora, al disco di rame che trovasi a contatto col manganese, corrisponde il polo positivo; ed all'altro disco, che trovasi in contatto col polo argento o polo stagno, corrisponde il polo negativo.

Le pile secche sono notabili per la durata della loro azione, la quale può prolungarsi per parecchi anni. La loro energia dipende molto dalla temperatura e dallo stato igrometrico dell'aria. Essa è maggiore in estate che in inverno, e l'azione di un forte calore può ravvivarla quando sembra estinta. Una pila di Zamboni di 2000 coppie non dà nè scossa nè scintilla, ma può caricare la bottiglia di Leyda e gli altri condensatori. A tal uopo però richiedesi un certo tempo, perchè l'elettricità nel suo interno non si muove che lentamente. Lo svolgimento dell'elettricità in queste pile è generalmente attribuito ad una lenta azione chimica prodotta dalla decomposizione delle materie organiche delle quali la carta è imbevuta.

673. **Elettrometro di Bohnenberger.** — Bohnenberger costrusse un elettrometro a pila secca di un'estrema sensibilità. È un elettroscopio a foglie d'oro (fig. 485, pag. 521), la cui asta porta una foglia d'oro sospesa ad eguali distanze dai poli contrari di due pile secche collocate in posizione verticale, nell'interno della campana sul piatto che serve di base all'apparecchio. Appena che la foglia d'oro possiede dell'elettricità libera, è attratta da una delle pile e respinta dall'altra, e la sua elettricità è evidentemente contraria a quella del polo verso cui si dirige.

674. **Apparato a rotazione.** — Si costruiscono, sotto nome di *giuochi d'anello,* dei piccoli apparati a rotazione continua, il cui movimento persiste per parecchi anni. La figura 532 rappresenta un apparato di questo genere. Due colonne di rame *a* e *b*, fissate sopra uno zoccolo di legno, comunicano per le loro basi, l'una col polo positivo, l'altra col polo negativo di una forte pila secca collocata orizzontalmente al disotto dello zoccolo. Questa pila è ordinariamente composta di sei pile più piccole comunicanti fra loro e formate complessivamente da 1800 coppie.

Sopra un perno *c*, collocato ad ugual distanza dalle due colonne *a* e *b*, trovasi un cappelletto d'avorio *i*, al quale sono attaccati quattro

sostegni che portano delle figurine dipinte sopra un cartone assai leggero, e che sono terminati da quattro banderuole di talco fissate con gomma-lacca onde isolarle. Queste banderuole, attratte dapprima dalla elettricità delle sfere che terminano le colonne, le toccano e si caricano

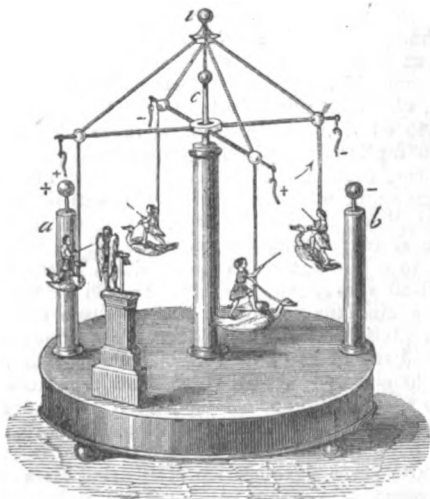



Fig. 532.

di elettricità della stessa specie. Allora, respinte, si mettono a girare, e le due banderuole positive, per es., che sono respinte dalla colonna *a*, vengono attratte dalla colonna *b*, e, dopo toccatala, ne sono del pari respinte, e così di seguito; d'onde risulta un movimento continuo che dura finchè la pila agisce, cioè per parecchi anni.

TEORIA CHIMICA DELLA PILA

675. Elettricità che si sviluppa nelle azioni chimiche. — La teoria del contatto, proposta da Volta per ispiegare la produzione dell'elettricità nella pila, non tardò ad essere attaccata da parecchi fisici. Fabroni, compatriota di Volta, avendo osservato che, nella pila, i dischi di zinco a contatto delle rotelle acidulate, si ossidavano, pensò che questa ossidazione era la causa principale dello sviluppo dell'elettricità. In Inghilterra, Wollaston manifestò ben presto la stessa opinione, e Davy l'appoggiò con ingegnose esperienze.

Egli è bensì vero che nell'esperienza da noi più sopra citata (664), Volta aveva ottenuto alcuni segni sensibili di elettricità; ma De la Rive ha fatto vedere che, tenendo lo zinco con una pinzetta di legno, scompare ogni segno di elettricità, e che lo stesso succede se si colloca lo zinco in certi gas, come sono l'idrogeno, l'azoto che non esercitano su

di esso alcuna azione. De la Rive conchiuse da ciò che lo sviluppo di elettricità, nell'esperienza di Volta, è dovuto alle azioni chimiche risultanti dalla traspirazione cutanea della mano e dall'ossigeno dell'aria.

Dimostrasi lo sviluppo dell'elettricità, nelle azioni chimiche, col mezzo dell'elettrometro condensatore, nel modo che segue: si pone sul piatto superiore un disco di carta bagnata, e al disopra di questa una capsula di zinco nella quale si versa un po' d'acqua e di acido solforico; poi si immerge nel liquido una lamina di platino comunicante col suolo, mentre si fa comunicare con esso anche il piatto inferiore col mezzo del dito bagnato. Quando si rompono le comunicazioni e si leva il piatto superiore, si riconosce che le foglie d'oro hanno preso una quantità sensibile di elettricità positiva, ciò che mostra che il piatto superiore è stato elettrizzato negativamente dall'azione chimica dell'acido solforico sulle pareti della capsula.

Ma egli è principalmente coll'aiuto del galvanometro (708) che si è constatato che tutte le azioni chimiche sono accompagnate da uno sviluppo di elettricità più o meno abbondante, ed è coll'aiuto dello stesso apparecchio che Becquerel ha trovato sullo sviluppo dell'elettricità nelle azioni chimiche le leggi seguenti:

1.° *Nella combinazione dell'ossigeno con un altro corpo, l'ossigeno prende l'elettricità positiva, e il combustibile l'elettricità negativa.*

2.° *Nella combinazione di un acido con una base, o con un corpo che funziona come questa, il primo prende l'elettricità positiva, e il secondo l'elettricità negativa.*

3.° *Quando un acido agisce chimicamente sopra un metallo, l'acido si elettrizza positivamente e il metallo negativamente,* ciò che è una conseguenza della seconda legge.

4.° *Nelle decomposizioni, gli effetti elettrici sono inversi dei precedenti.*

5.° *Nelle doppie decomposizioni, l'equilibrio delle forze elettriche non è punto turbato.*

Quanto alla quantità di elettricità sviluppata nelle azioni chimiche, essa è enorme. Becquerel, infatti, giunse a un solo risultato che spaventa l'immaginazione, ed è che l'ossidazione di una quantità d'idrogeno che può dare 1 milligrammo d'acqua, sviluppa tanta elettricità da caricare *ventimila volte una superficie metallica di un metro in superficie,* a un tal grado che le scintille risultanti dalla scarica scoppiino a un centimetro di distanza. Faraday, Pelletier e Buff pervennero a risultati simili.

676. **Teoria chimica della pila a una sola coppia.** — In questa teoria, la sola che sia generalmente ammessa al dì d'oggi, tutta l'elettricità sviluppatasi nelle pile precedentemente descritte è dovuta all'azione dell'acqua acidulata sullo zinco, come è facile rendersene conto dietro le leggi date qui sopra (675). Tuttavia, importa osservare che, mentre nella teoria del contatto (665) è la riunione di uno zinco e di un rame saldati assieme che costituisce una coppia, nella teoria chimica invece è *il sistema di uno zinco e di un rame separati da acqua acidulata.*

Ciò posto, sia dapprima il caso di una sola coppia zinco e rame che pesca nell'acqua acidulata con acido solforico (fig. 533). Secondo la terza legge di Becquerel, nell'azione chimica che producesi fra l'acido, l'acqua e lo zinco, quest'ultimo si elettrizza negativamente e l'acqua acidulata positivamente. Quanto al rame, essendo *inattivo,* vale a dire

non intaccato dall'acido solforico alla temperatura ordinaria, esso non fa che prendere al liquido la sua elettricità, in modo che esso trovasi elettrizzato positivamente. Riunendo dunque i due metalli con un filo metallico, si avrà una corrente che andrà, nel liquido, dallo zinco al rame, ed esternamente invece dal rame allo zinco. Donde rilevasi che *il polo positivo corrisponde al metallo inattivo, e il polo negativo al metallo attivo,* vale a dire *al metallo intaccato dall'acido.* Questo principio è generale e si applica non solo a tutte le pile già descritte, ma anche a quelle che ci restano a far conoscere.

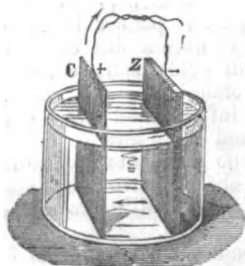



Fig. 533.

Nella teoria chimica della pila, dovuta a De la Rive, vedesi essere necessario che uno solo dei metalli che compongono la coppia voltiana sia intaccato dall'acqua acidulata, o per lo meno che il secondo metallo sia molto meno attivo del primo, altrimenti produconsi due effetti di direzione contraria che tendono ad annichilarsi. Egli è per questo motivo che, nella coppia voltiana, al rame si sostituisce con vantaggio il platino ed anche il carbone calcinato.

677. **Teoria della pila a parecchie coppie.** — Nel caso di una sola coppia, quale venne considerato più sopra (fig. 533), tosto che le due elettricità sono separate dall'azione chimica, l'una sopra lo zinco, l'altra nel liquido, la maggior parte ricombinasi nella coppia stessa attraverso il liquido, di modo che solo una debolissima porzione delle elettricità sviluppate dall'azione chimica circola nel filo congiuntore; e la quantità di elettricità che passa così in questo filo è tanto più debole quanta minor resistenza incontrano i due fluidi a riunirsi nell'interno della coppia. Se questa resistenza, invece, diventa più grande, la quantità di elettricità che va da un polo all'altro pel filo congiuntore aumenta. Ora, tale è il risultato che si ottiene moltiplicando il numero delle coppie.

Infatti, sia, per es., una pila a truogoli AB (fig. 534), formata da coppie zinco e rame, e i truogoli della quale contengano dell'acido solforico

Fig. 534.

diluito con acqua, l'acido di ogni truogolo intacca lo zinco, ma non ha azione sul rame; avvi dunque, in tutta la pila, svolgimento di elettricità positiva verso il liquido e di elettricità negativa sullo zinco di ogni coppia (675, 3.°). Ora, nel truogolo *b*, dove il liquido è nello stesso tempo a contatto con uno zinco ed un rame, l'elettricità positiva del liquido si ricompone costantemente coll'elettricità contraria della cop-

pia *cz*; egualmente, nel truogolo *d*, il fluido positivo del liquido si combina col fluido negativo della coppia *c'z'*, e così di seguito in tutta la pila: così che non vi sono che le elettricità dei truogoli esterni *a* ed *h* che, non potendo unirsi a quelle dei truogoli vicini, restano libere. Egli è facile a vedersi che allora è il truogolo *a* che è elettrizzato positivamente per l'azione del suo acido sullo zinco *z*, ed il truogolo *h* che è elettrizzato negativamente dalla elettricità che ad esso comunica la coppia *c''z''*. Quanto alle lamine esterne *a* e *h*, che sono di rame e non sono punto intaccate dall'acqua acidulata, esse sono destinate a raccogliere le elettricità contrarie accumulate ai due poli della pila, ed a trasmetterle ai fili di rame che servono di elettrodi.

Ciò posto, avendo De la Rive trovato che la conduttività di una massa liquida interrotta da diaframmi metallici è in ragione inversa del loro numero, ne segue che quanto maggiore è il numero delle coppie interpolari, tanto maggiore resistenza alla loro ricomposizione nella pila incontrano le elettricità contrarie accumulate ai poli, tanto più forte è la tensione e più abbondante è l'elettricità che percorre il filo congiuntore. Ne deriva inoltre che, nelle coppie interpolari, la tensione diminuisce dai poli verso il mezzo della pila, poichè diminuendo l'intervallo delle coppie, la resistenza alla ricomposizione è minore. Per la stessa ragione, la tensione è nulla nella parte centrale.

Siccome la resistenza alla ricomposizione delle elettricità contrarie accumulate ai due poli aumenta quando il liquido interpolare è meno conduttore, lo stesso deve avvenire della tensione. Infatti De la Rive ha riconosciuto che, riempiti i truogoli della pila di acqua acidulata o d'acqua ordinaria, la tensione è la stessa. Nel primo caso, la produzione di elettricità è più abbondante, ma i fluidi contrari si ricompongono più facilmente.

Finalmente, secondo la teoria precedente, la tensione aumenta col numero delle coppie; ma le elettricità contrarie delle coppie intermediarie formando costantemente del fluido neutro, ne risulta, quando riunisconsi i due poli con un circuito metallico, che questo non è attraversato, in realtà, che dall'elettricità sviluppata da una sola coppia. Da che si scorge che aumentando il numero delle coppie, queste si comportano come se fossero inattive e non modificano l'intensità della corrente che per la resistenza che oppongono alla ricombinazione delle elettricità contrarie delle coppie esterne.

678. **Indebolimento della corrente nelle pile, correnti secondarie, polarità.** — Le diverse pile a colonna, a truogoli, di Wollaston e di Münch, descritte precedentemente, e che hanno tutte per carattere di essere composte di due metalli e di un solo liquido, presentano il grave inconveniente di dare certe correnti, l'intensità delle quali diminuisce rapidamente.

Questo indebolimento è dovuto a due cause: la prima è la diminuzione delle reazioni chimiche per la neutralizzazione dell'acido solforico a misura che si combina allo zinco; la seconda proviene dalle *correnti secondarie*. Chiamansi così certe correnti che produconsi nelle pile in senso contrario alla corrente principale e la distruggono in totalità o in parte. Becquerel riconobbe che queste correnti sono generate da depositi che formansi sulle lastre di zinco e rame delle coppie. Infatti, la corrente che va dallo zinco al rame, *nella pila*, decomponendo l'acqua e il solfato di zinco che si è formato, si deposita, sul rame verso il

quale è diretta la corrente, non solo uno strato di zinco tanto più grosso, quanto più rimane in attività la pila, ma delle bolle di idrogeno che restano aderenti al metallo, e non se ne separano che dopo di avere raggiunto un volume assai considerevole. Da ciò due cause di indebolimento grandissime; poichè mentre i depositi di zinco danno origine ad una corrente di senso contrario a quella della pila e la neutralizzano più o meno, le bolle di gas, per la loro poca conducibilità, offrono una grande resistenza alla circolazione della elettricità nella pila. Se si interrompe il circuito, i depositi si disciolgono e l'intensità della corrente aumenta. Si ottiene lo stesso risultato facendo passare la corrente di un'altra pila in senso contrario della corrente della prima, i depositi che si sono formati sono in tal caso disciolti dai depositi opposti.

De la Rive ha constatato, pel primo, che delle lamine di platino che hanno servito a trasmettere la corrente in un liquido decomponibile, essendo ritirate da questo liquido e immerse nell'acqua distillata, danno nascita ad una corrente di senso contrario a quella che avevano dapprima trasmessa, fenomeno che il dotto fisico di Ginevra ha espresso dicendo che le lamine sono *polarizzate*. Becquerel e Faraday hanno mostrato che questa polarità delle lamine di metallo è un effetto dei depositi generati dalle correnti secondarie di cui è stata quistione poc'anzi.

Le lamine di platino che hanno servito alla decomposizione dell'acqua pura acquistano anch'esse la polarità elettrica, senza che si possa attribuirlo all'effetto di un acido o di una base; ma Matteucci ha fatto vedere che essa proviene in tal caso da uno strato di ossigeno e di idrogeno deposto rispettivamente su ciascuna lamina.

PILE SEPARATE A DUE LIQUIDI

679. **Oggetto delle pile a due liquidi.** — Nelle pile descritte fin qui, le quali sono conosciute sotto il nome di *pile ad un solo liquido*, si è veduto (678) che le cause che concorrono all'indebolimento della corrente sono la trasformazione dell'acido solforico in solfato di zinco, e la decomposizione di questo sale per la corrente interna della pila, con deposito di zinco e di idrogeno sulle lamine di rame. Ora, il doppio oggetto delle pile a due liquidi è: 1.° di opporsi ai depositi di zinco e di idrogeno sulle lamine di rame; 2.° di conservare all'acido della pila sempre lo stesso grado di concentrazione.

Si giunge a questo doppio risultato facendo uso di due liquidi suscettibili di reagire l'uno sull'altro. Essi sono separati da un *diaframma* che lascia passare facilmente la corrente, ma non permette allo zinco di depositarsi sul rame. Finalmente, i due elementi di una stessa coppia sono immersi, l'uno in uno dei liquidi, l'altro nell'altro. Le pile così costrutte presentano una costanza di intensità rimarchevole, che ha lor fatto dare il nome di *pile a corrente costante*. La prima pila a corrente costante è dovuta a Becquerel, nel 1829. In seguito venne molto variata la forma di queste pile; le più in uso sono la pila di Daniell, quella di Grove e quella di Bunsen. La pila di Daniell soddisfa solo alle due condizioni suaccennate; essa è veramente la pila a corrente costante; le altre due non soddisfano che alla prima condizione.

680. **Pila di Daniell.** — Nel 1836, il chimico inglese Daniell costruì la pila che porta il suo nome, e che, colla *pila a carbone* (682), è quella il cui uso è maggiore.

La figura 535 rappresenta una coppia o un *elemento* di questa pila, della quale si è variata molto la forma. Un vaso V, di vetro, è riempito di una dissoluzione satura di solfato di rame, nella quale si immerge un cilindro di rame C, forato lateralmente da molti fori e aperto alle due estremità. Alla parte superiore di questo cilindro è fissato un recipiente anulare G, forato sul suo contorno inferiore da piccoli fori pei quali penetra la soluzione. Questo recipiente è destinato a contenere dei cristalli di solfato di rame, che si disciolgono a misura che l'apparecchio funziona. Finalmente, nell' interno del cilindro C trovasi

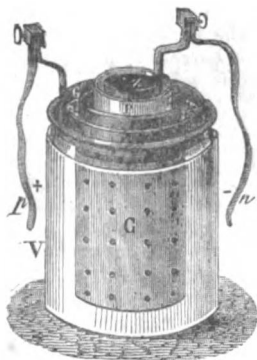



Fig. 535.

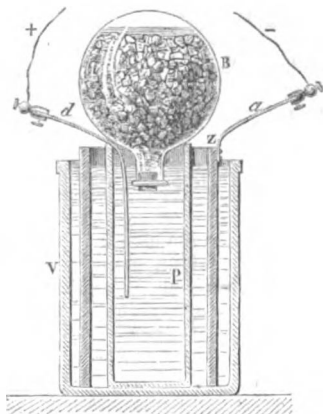



Fig. 536.

un vaso poroso, o diaframma P, di terra cotta, pieno di acqua acidulata con acido solforico, o con una soluzione di salmarino, nella quale è immerso un cilindro di zinco Z, aperto alle sue due estremità e amalgamato. Ai cilindri di zinco e di rame sono fissate con viti di pressione due sottili lamine di rame *p* e *n*, che formano gli elettrodi della pila. Finchè i due elettrodi non comunicano fra loro, la pila è inattiva; ma tosto che la comunicazione è stabilita, l'azione chimica comincia: l'acqua è decomposta, e l'acido solforico intacca lo zinco, il quale si elettrizza negativamente, mentre l'acqua acidulata si elettrizza positivamente (675). Da questa il fluido positivo si porta, attraverso al diaframma, nella soluzione di solfato, e finalmente sul rame C, che diventa così il polo positivo. Quanto all' idrogeno proveniente dalla decomposizione dell'acqua, esso è trascinato nel senso della corrente interna, e si porta nella dissoluzione di solfato di rame, del quale riduce l'ossido e rivivifica il metallo, che va a formare un deposito senza aderenza sul cilindro C. Per conseguenza, la superficie di quest'ultima rimane sempre identicamente la stessa, e alcun deposito di idrogeno non si forma sul rame. Finalmente, l'ossido di zinco che può provenire dalla decomposizione del solfato di zinco per la corrente interna nella pila non passa attraverso al vaso poroso, e rimane nella dissoluzione stessa in cui è immerso lo zinco.

Durante questo lavoro chimico, la soluzione di solfato di rame tende ad impoverirsi rapidamente; ma i cristalli posti nel recipiente G disciogliendosi di mano in mano, il grado di concentrazione rimane costante. Quanto all' acido solforico reso libero dalla decomposizione del solfato di rame, esso si porta, nello stesso tempo dall'ossigeno, dell' acqua, verso lo zinco per trasformarlo in solfato; e siccome la quantità di acido solforico posto in libertà nella soluzione di rame è regolare, l' azione di questo acido sullo zinco lo è pure; d' onde risulta una corrente costante. Riguardo ai poli, è l' elettrodo fisso allo zinco il negativo, e quello fisso al rame è positivo, come nelle pile già descritte.

Invece di un vaso di terra porosa, si prende anche, per diaframma che separa le due soluzioni, una bisaccia di tela da vele o di pellicola. L' effetto è dapprima maggiore che con un vaso poroso, ma le due soluzioni mescolansi più rapidamente; ciò che l'indebolisce. In generale, i diaframmi devono essere permeabili alla corrente, ma impedire per quanto sia possibile la mescolanza delle due soluzioni.

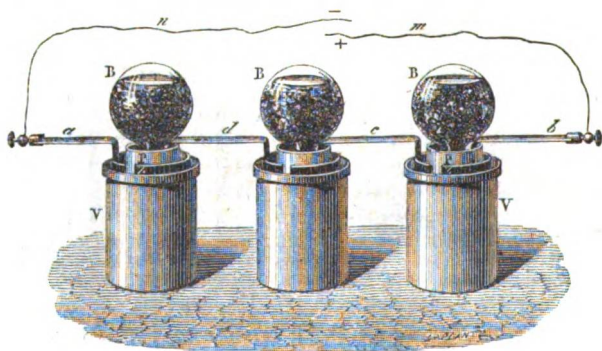



Fig. 537.

Colla pila di Daniell, si ottengono effetti costanti durante più giorni, ed anche durante più mesi, quando si ha cura di conservare la soluzione di solfato di rame allo stato di saturazione, aggiungendo di tempo in tempo dei cristalli di questo sale.

Nell' elemento rappresentato dalla figura 535, i cristalli di solfato di rame devono essere rinnovati molto frequentemente; di più l' evaporazione operandosi con facilità, il solfato di zinco cristallizza stendendosi sulle pareti del vaso poroso, ciò che stabilisce una conducibilità svantaggiosa per la parte superiore del diaframma separante i due liquidi.

Questi inconvenienti sono tolti nella *pila a matracci*, adottata da Verité, di Beauvais. In un vaso di maiolica V (fig. 536) trovasi dell' acqua leggermente acidulata con acido solforico, od anche acqua pura. Nel liquido è immerso un cilindro di zinco Z, poi un vaso poroso P, riempito di una soluzione satura di solfato di rame. In questa soluzione s' immerge la bocca di un matraccio B riempito di cristalli dello stesso sale e di acqua. La bocca non è chiusa che in parte da un

turacciolo scanalato sui due lati. Di conseguenza, tosto che il livello si abbassa al disotto della bocca, una bolla di aria entra nel matraccio, e un volume uguale di liquido saturo ne sfugge; da che risulta un livello costante. Di più, l'elemento essendo quasi chiuso, l'evaporazione è più lente, e i cristalli formantisi alla parte superiore del vaso poroso meno abbondanti; per ciò la pila agisce lunghissimo tempo senza aver bisogno di sorveglianza.

Quando si fa uso di acqua pura invece di acqua acidulata, la pila non ha dapprincipio che una debole intensità al momento della chiusura del circuito. Importa dunque di stabilire quest'ultima alquanto tempo prima di far uso della pila, ventiquattro ore almeno.

La figura 537 rappresenta una associazione in batteria della pila di Verité. A ciascuno zinco, partendo dal polo positivo, è saldata una laminetta di rame che va ad immergersi nel vaso poroso della coppia seguente.

681. **Pila di Grove.** — La figura 538 rappresenta una coppia della pila di Grove. Questa coppia è composta: 1.° di un vaso di vetro A riempito in parte di acqua acidulata con acido solforico; 2.° di un cilindro di zinco Z, aperto ai due capi ed avente una fessura longitudinale; 3.° di un vaso poroso V, di terra cotta pieno d'acido azotico ordinario; 4.° di una lamina di platino P curvata ad S (fig. 539) e fissata ad un coperchio *c* che si appoggia sul vaso poroso. Un'asta metallica *b*, comunicante colla lamina di platino, porta un filo di rame che serve d'elettrodo positivo, mentre un secondo filo fissato allo zinco serve di elettrodo negativo.

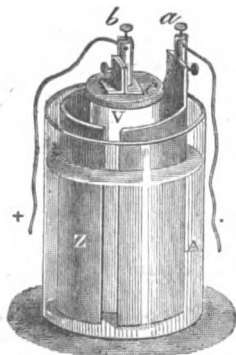



Fig. 538. Fig. 539.

Questa pila è poco usitata a motivo del molto costo del platino. Inoltre questo metallo ha l'inconveniente che, quando la pila ha funzionato per un certo tempo, divien fragile e si spezza sotto il minimo sforzo; tuttavia Adam, professore di fisica a Nizza, ha osservato che riscaldando sino al rosso le lamine di platino della pila di Grove, esse riprendono la loro elasticità. La teoria della pila di Grove è la stessa di quella della pila di Bunsen (682).

682. **Pila di Bunsen.** — La *pila di Bunsen*, conosciuta anche sotto il nome di *pila a carbone*, fu inventata nel 1843; non è che quella di Grove, in cui la foglia di platino è sostituita da un cilindro di carbone preparato riscaldando fortemente, in una forma di ferro, una mescolanza intima di coke e di carbon fossile grasso ben polverizzati e fortemente compressi.

Ciascuna coppia della pila a carbone è composta di quattro pezzi di forma cilindrica, i quali ponno facilmente essere collocati l'uno entro l'altro. Questi pezzi sono: 1.° un vaso F (fig. 540) di maiolica o di vetro, contenente una soluzione di una parte d'acido solforico in 10

parti d'acqua; 2.° un cilindro cavo Z, di zinco amalgamato, al quale è fissata una lamina stretta e sottile di rame destinata a servire di elettrodo negativo; 3.° un vaso poroso V, di terra cotta, nel quale si pone dell'acido azotico ordinario; 4.° un cilindro di carbone C, preparato come si disse e buon conduttore. Alla parte superiore del carbone è fissata una lamina di rame che serve di elettrodo positivo. La miglior

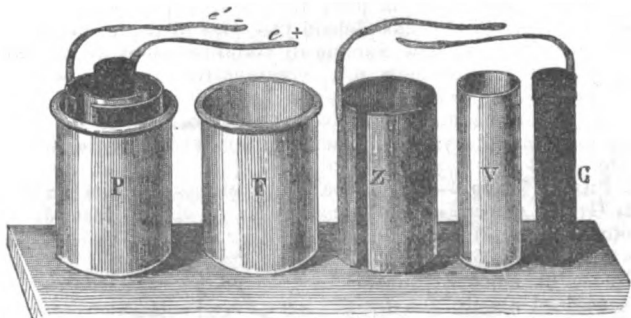



Fig. 540 (a. = 25).

maniera di fissare questa lamina si è di saldarla a un tronco di cono che entra nel carbone come lo rappresenta la figura 541. Quando si vuol far agire l'apparato, lo si dispone come lo si vede in P (fig. 540), collocando nel vaso di maiolica il cilindro di zinco, ed in questo il vaso poroso ed il carbone.

Finchè lo zinco ed il carbone non comunicano, la pila è inattiva; ma appena che la comunicazione sia stabilita, per mezzo di un circuito conduttore, l'azione chimica incomincia. L'acqua nella quale è immerso lo zinco essendo decomposta da questo metallo e dall'acido solforico con formazione di solfato di zinco, questo s'elettrizza negativamente (675) e diviene il polo negativo della coppia; l'acqua acidulata elettrizzandosi all'opposto positivamente, il fluido positivo passa attraverso al vaso poroso, nell'acido azotico, e di là sul carbone che diventa così il polo positivo. L'idrogeno proveniente dalla decomposizione dell'acqua, non si depone sui carboni; ma decompone l'acido azotico e lo trasforma in acido ipoazotico, impadronendosi di una parte del suo ossigeno per farne dell'acqua. Quanto al solfato di zinco che si forma, una parte è decomposta, come nelle pile ad un solo liquido, dalla corrente interna; e qui questa decomposizione dà luogo a dell'acido solforico che si porta sullo zinco, e a dell'ossido di zinco che, non potendo passare attraverso al vaso poroso per portarsi sul carbone, resta nel vaso esterno. Il carbone conserva dunque una superficie perfettamente netta; ed è ciò che contribuisce specialmente a conservare alla corrente la sua intensità. Tuttavia tre cause di indebolimento esistono ancora. 1.° Siccome non v'è sempre decomposta che una porzione di solfato di zinco che si produce per l'azione chimica, l'acido solforico libero va costantemente decrescendo, causa di indebolimento che non esiste nella pila di Daniell. 2.° L'acido azotico impoverendosi di più in più in ossigeno, l'idrogeno tende a deporsi sul carbone. 3.° L'ossido di zinco e le sostanze estranee contenute in questo

metallo, portandosi sul vaso poroso, ne otturano i pori poco a poco e ne diminuiscono la permeabilità per la corrente. Da queste differenti cause risulta che la corrente si indebolisce abbastanza rapidamente. Tuttavia, per correnti il cui lavoro non deve essere troppo prolungato, la pila di Bunsen è la più energica delle pile a due liquidi e quella il cui uso è più frequente. Però essa ha l'inconveniente di spandere vapori di acido ipoazotico che diventano affatto insopportabili quando le coppie sono numerose.

Per formare un apparato composto, ossia una pila, si dispongono le coppie come mostra la figura 541. Ai cilindri di zinco e di carbone

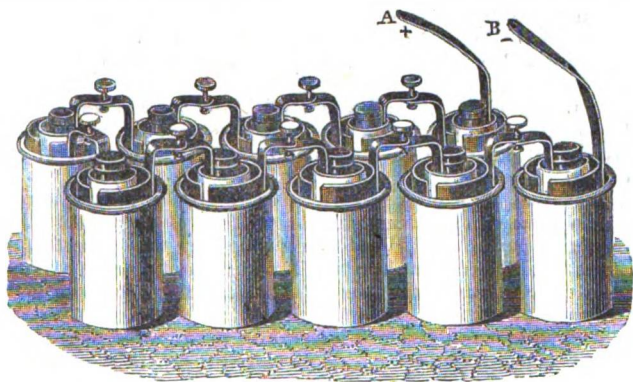



Fig. 541.

sono fissate alcune piccole lamine di rame ricurve che si uniscono per mezzo di viti di pressione, facendo comunicare il carbone di ciascuna coppia collo zinco della coppia successiva, e terminando la prima e l'ultima coppia con due elettrodi A e B. In recenti esperienze Despretz portò il numero delle coppie sino ad 800.

Per variare la superficie a norma degli effetti che si vogliono produrre, Deleuil costrusse delle coppie di Bunsen di due grandezze, che noi distingueremo coi nomi di *grandi* e di *piccoli modelli*. Nei primi il cilindro di zinco ha 22 centimetri di altezza; nei secondi 14. Deleuil ammette che per gli effetti dipendenti dalla superficie, una coppia grande modello equivale a circa due coppie piccole. Quando parleremo di un numero di coppie senza indicare se grandi o piccoli modelli, si intenderà parlare di questi ultimi.

683. **Manipolazione della pila di Bunsen.** — La manipolazione della pila di Bunsen è lunga, faticosa, e dev'essere fatta con attenzione, se si vuole ottenere dalla pila tutto il suo effetto. Duboscq, competente in questa materia, dà a questo proposito i seguenti consigli:

Il miscuglio d'acqua e d'acido solforico lo si deve preparare anticipatamente in un solo vaso, onde avere esattamente lo stesso grado di saturazione per tutte le coppie. Versata anzitutto l'acqua in una tinozza di legno, aggiungesi un decimo, in volume, di acido solforico ordinario, di modo che la soluzione marchi 10 ad 11 gradi del pesa-acido.

di Baumé. Se non si ha il pesa-acido, l'acqua è sufficientemente acidulata quando essa diventa tiepida e che una gocciola deposta sulla lingua non può esservi conservata.

Quanto agli elementi, essi devono essere disposti in seguito gli uni agli altri sopra una tavola ben secca, avendo cura che non si tocchino gli uni gli altri per alcuna delle loro parti, tranne che per le lastre e i coni di rame che uniscono lo zinco di ogni elemento al carbone dell'elemento seguente: si versa in seguito, mediante un imbuto, l'acido azotico nei vasi porosi sino a due centimetri dall'orlo, poi si riempiono allo stesso modo i vasi esterni di acqua acidulata sino a un centimetro dall'orlo, ciò che stabilisce appresso a poco l'eguaglianza di livello dei due liquidi: condizione essenziale per la costanza della pila. Versato l'acido azotico nei vasi porosi, devesi introdurre l'acqua acidulata, onde non dare all'acido azotico il tempo di attraversare questi vasi e di intaccare gli zinchi.

Essendo indispensabile, perchè una pila funzioni a dovere, di stabilir bene il contatto, devonsi pulire con cura, fregandoli con carta di vetro, i tronchi di cono che si impegnano nei carboni e far sì che entrino a forza in questi.

L'acido azotico, se è nuovo, deve marcare 40° al pesa-acido, e può servire sino a che non marca più che 26°. Vi si aggiunge allora un cinquantesimo, in volume, di acido solforico; ma dopo quest'aggiunta, esso non può servire che una volta. L'acqua acidulata serve generalmente due volte, a meno che il solfato di zinco formatosi non incominci a cristallizzare.

Ciò che devesi maggiormente osservare per conservare la pila in buono stato, è l'amalgamazione degli zinchi (684). Si conosce che uno zinco ha bisogno di essere amalgamato quando si fa udire un sibilo nell'acqua acidulata senza che la pila sia in attività. Se esso è fortemente intaccato, vedesi l'acqua fumare ed anche bollire; in questo caso bisogna ritirare lo zinco immediatamente, altrimenti in poche ore si forerebbe.

Per amalgamare gli zinchi, si immergono per qualche secondo nell'acqua acidulata (quella stessa della pila), onde pulirli; indi si collocano l'uno dopo l'altro in un vaso di terra contenente un po' d'acqua acidulata (due volte di più della prima), e due chilogrammi circa di mercurio che stendesi sullo zinco con una grattabugia di ferro. Quando gli zinchi sono amalgamati, si immergono in una tinozza di acqua netta, in fondo alla quale, dopo l'operazione, trovasi l'eccesso di mercurio.

684. **Proprietà dello zinco amalgamato.** — De la Rive osservò che lo zinco perfettamente puro non viene intaccato dall'acido solforico diluito con acqua, ma che lo è quando sia posto a contatto con una lastra di platino o di rame immersa nella soluzione. Al contrario, lo zinco comune, che non è puro, è vivamente intaccato dall'acido diluito; però quando sia amalgamato acquista la proprietà dello zinco puro ed è intaccato soltanto quando si trova a contatto con un filo di rame o di platino immerso esso pure nella soluzione, cioè quando fa parte di una coppia in attività.

Questa proprietà, che sembra dovuta allo stato elettrico che assume lo zinco pel suo contatto col mercurio, venne applicata alle pile elettriche da Kemp, fisico inglese, il quale immaginò di amalgamare gli zinchi di ciascuna coppia; da ciò risulta che finchè il circuito non è

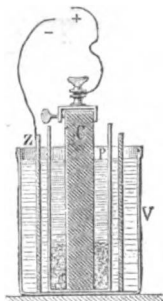
chiuso, cioè finchè non avvi corrente, lo zinco non viene intaccato. Inoltre si osserva che collo zinco amalgamato la corrente è più regolare, ed in pari tempo per una stessa quantità di metallo disciolto è più intensa.

685. **Pila a solfato di mercurio.** — La pila a solfato di mercurio, dovuta a Marié-Davy, ha ricevuto diverse disposizioni. Quella generalmente adottata è identicamente la stessa di quella della pila di Bunsen, soltanto con dimensioni molto minori. Di più, nel vaso esterno V (fig. 542), invece di acqua acidulata con acido solforico, si mette dell'acqua ordinaria, o una dissoluzione di cloruro di sodio; e nel vaso poroso, invece di acido azotico, del bisolfato di protossido o di biossido di mercurio. Questo sale essendo poco solubile, lo si allunga allo stato polverulento in tre volte il suo volume di acqua circa, poi si decanta e si riduce allo stato pastoso. Avendo dapprima posto il carbone nel vaso poroso, si riempiono i vuoti con questo residuo e si versa di sopra il liquido che si è decantato.

Fig. 542 (a. = 10).

La pila così disposta, l'azione chimica non si produce se non quando i due poli sono riuniti da un conduttore. Allora, considerando il caso in cui il vaso esterno non contiene che dell'acqua, lo zinco decompone quest'ultima ossidandosi lentamente, mentre l'idrogeno posto in libertà si porta nel vaso poroso, dove riduce l'ossido di mercurio. L'acido solforico divenuto libero si porta allora sullo zinco; quanto al mercurio metallico, si deposita sul carbone, dal quale cade in fondo del vaso poroso, ove lo si raccoglie quando la pila è resa inattiva. In ciò v'ha una economia importante, poichè questo stesso mercurio può in seguito servire a preparare una quantità di solfato eguale a quella che è stata decomposta. Una piccola quantità di solfato di mercurio può attraverso il vaso poroso portarsi sullo zinco; ma esso non produce che un effetto utile, amalgamandosi il mercurio con questo metallo.

La pila a solfato di mercurio cessa rapidamente di agire quand'essa funziona rapidamente; ma essa può funzionare per due o tre mesi con correnti interrotte, come quelle che servono pei telegrafi, per gli orologi da appartamento, ecc.

686. **Combinazioni diverse delle coppie di una pila.** — Quando si uniscono parecchie coppie di Bunsen o di Daniell per formare una pila galvanica, come mostra la figura 541, si ponno combinare in differenti modi. Per es., nel caso di sei coppie, si ponno formare le quattro combinazioni seguenti: 1.° una sola serie longitudinale (fig. 543), di cui C rappresenta l'elettrodo positivo e Z l'elettrodo negativo; 2.° due serie parallele di tre coppie ciascuna (fig. 544), rimanendo gli elettrodi positivi delle due serie in C, e gli elettrodi negativi in Z; 3.° tre serie parallele di due coppie ciascuna (fig. 545) di cui gli elettrodi dello stesso nome si riuniscono ancora in un solo; 4.° finalmente, sei serie ciascuna di una sola coppia (fig. 546), le cui correnti si riuniscono in C ed in Z. Con dodici coppie si potrebbero formare otto combinazioni diverse, e così di seguito aumentando il numero delle coppie. Le combinazioni in serie longitudinali si designano sotto il nome di *associazione in serie;* e quelle in serie parallele, sotto quello di *associazione in batteria.*

In queste diverse combinazioni, la diminuzione della lunghezza delle serie ed il proporzionale aumento del loro numero, equivalgono ad una diminuzione del numero delle coppie e ad un aumento della loro superficie, il che produce, per uno stesso numero di coppie, effetti assai differenti, come vedremo quanto prima parlando degli effetti della pila (687).

Nelle diverse combinazioni suindicate, la resistenza che la pila presenta alla corrente, diminuisce a misura che cresce il numero delle serie

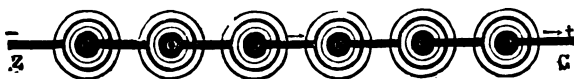



Fig. 543.

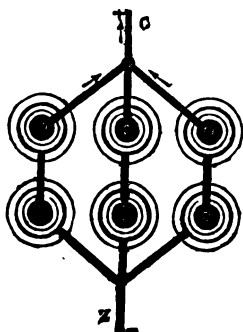



Fig. 544.

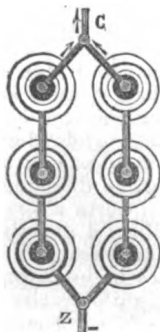



Fig. 545.

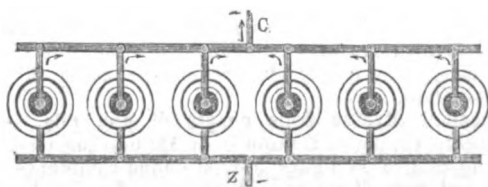



Fig. 546.

parallele. Infatti, se si rappresenta con 1 la resistenza di una sola coppia, quella della prima combinazione (fig. 543) è 6; quella della seconda (fig. 544) è 3 per ciascuna serie, e quindi $\frac{3}{2} = 1{,}5$ per le due serie riunite, perchè a resistenza eguale la corrente è doppia; del pari nella terza combinazione (fig. 545), la resistenza per ciascuna serie è 2, e per le tre serie riunite è $\frac{2}{3} = 0{,}666$; finalmente, nella quarta (fig. 546),

essa è $\frac{1}{6} = 0,166$. Nello stesso modo si calcolerebbe la resistenza di un numero qualunque di coppie disposte in serie parallele. Per es., 24 coppie, in tre serie parallele di 8, danno la resistenza $\frac{8}{3} = 2,666$. Ora, siccome il calcolo dimostra che si ottiene il massimo effetto di una pila, quando la resistenza nella pila è eguale a quella che presenta il circuito che deve percorrere la corrente da un elettrodo all'altro, così si dovrà scegliere, fra le combinazioni possibili, quella la cui resistenza si avvicini di più alla resistenza del circuito dato.

CAPITOLO II.

EFFETTI DELLA PILA, GALVANOPLASTICA, INDORATURA ED INARGENTATURA

687. **Diversi effetti della pila.** — Gli effetti dell'elettricità dinamica si dividono in effetti *fisiologici*, *fisici*, *meccanici* e *chimici*; essi differiscono da quelli dell'elettricità statica, perchè questi ultimi sono dovuti ad una ricomposizione istantanea delle due elettricità a forte tensione, mentre i primi risultano dalla ricomposizione lenta ed a tensione molto più debole degli stessi fluidi quando i due poli della pila sono congiunti per mezzo di un circuito più o meno conduttore. Gli effetti delle correnti sono molto più notevoli di quelli delle macchine elettriche per la continuità della forza che li produce.

Gli effetti fisici, che si dividono in effetti calorifici ed effetti luminosi, dipendono principalmente dalla quantità di elettricità posta in movimento nella pila, e, per conseguenza, dalla superficie delle coppie. Al contrario, gli effetti chimici e gli effetti fisiologici dipendono dalla tensione, e quindi dal numero delle coppie. Tutti questi effetti aumentano coll'azione chimica del liquido della pila.

688. **Effetti fisiologici.** — Si chiamano con questo nome gli effetti prodotti dalla pila sugli animali morti o vivi. Abbiamo veduto che questi effetti furono i primi che vennero osservati, giacchè ad essi è dovuta la scoperta dell'elettricità dinamica fatta da Galvani (663). Essi consistono in scosse e contrazioni muscolari assai energiche quando le pile sono potenti.

Prendendo nelle due mani gli elettrodi di una forte pila, si risente una violenta scossa paragonabile a quella della bottiglia di Leyda, principalmente se le mani furono bagnate con acqua acidulata o salata, che aumenta la conducibilità. La scossa è di tanto più intensa quanto più numerose sono le coppie. Con una pila di Bunsen di 50 a 60 coppie, modello piccolo, la scossa è forte; con 150 a 200 coppie è insopportabile ed anche dannosa qualora venga prolungata. Essa si stende nelle braccia meno di quella della bottiglia di Leyda, e, trasmessa in una catena di parecchie persone, è sentita generalmente soltanto da quelle che si trovano più vicine ai poli.

La scossa della pila, al pari di quella della bottiglia di Leyda, è dovuta alla ricomposizione delle elettricità contrarie, ma con questa differenza, che la scarica della bottiglia di Leyda essendo istantanea, lo stesso accade della scossa da essa prodotta, mentre la pila, ricaricandosi tosto dopo ciascuna scarica, le scosse si succedono con rapidità. L'effetto della corrente voltiana sugli animali varia colla sua direzione. Infatti, dalle ricerche di Lehot e di Marianini risulta che quando la corrente si propaga secondo le ramificazioni dei nervi produce una contrazione muscolare al momento in cui incomincia ed una sensazione dolorosa quando finisce; mentre, se si propaga in senso contrario delle ramificazioni nervose, produce una sensazione finchè dura, ed una contrazione al momento della sua interruzione. Però questa differenza di effetti ha luogo soltanto per correnti deboli. Colle correnti intense le contrazioni ed i dolori si producono egualmente quando cessa la corrente, qualunque sia la sua direzione.

Le contrazioni cessano tosto che la corrente è stabilita invariabilmente tra il nervo ed il muscolo, ciò che tende a dimostrare che si è prodotta una modificazione istantanea, la quale dura quanto la corrente. Infatti le contrazioni si manifestano di nuovo se si cambia la direzione della corrente, o se le si sostituisce una corrente più energica.

Per effetto della corrente furono richiamati in vita dei conigli asfissiati da mezz'ora; una testa di un decapitato provò contrazioni così orribili che gli spettatori ne furono spaventati. Il tronco, sottoposto alla stessa azione, si sollevava in parte, le mani si agitavano, percuotevano gli oggetti vicini, ed i muscoli del petto imitavano il movimento respiratorio. Finalmente, tutti gli atti della vita si riproducevano perfettamente, ma cessavano ad un tratto colla corrente.

689. **Effetti calorifici.** — Una corrente voltiana che attraversi un filo metallico produce gli stessi effetti della scarica di una batteria (658); il filo si scalda, diventa incandescente, si fonde o si volatilizza, secondo che è più o meno lungo e di diametro maggiore o minore. Con una pila potente si fondono tutti i metalli, e perfino l'iridio ed il platino che resistono al più intenso fuoco di fucina. Il carbone è il solo corpo che finora non siasi potuto fondere colla pila. Però Despretz, con una pila di Bunsen di 600 coppie riunite in sei serie parallele (686) ha portato delle verghe di carbone purissimo ad una temperatura tale che si incurvarono, si ramollirono e si poterono saldare insieme; fenomeni che indicano un principio di fusione.

Nelle stesse esperienze, questo scienziato trasformò il diamante in grafite, ed ottenne, per mezzo di una azione assai prolungata, dei globetti di carbone fuso. Egli potè fondere in alcuni minuti 250 grammi di platino; operando sopra pochi grammi ne volatilizzò una parte.

Basta una pila di 30 a 40 elementi di Bunsen per fondere e volatilizzare con rapidità dei piccoli fili di piombo, di stagno, di zinco, di rame, d'oro, d'argento, di ferro ed anche di platino, con vive scintille diversamente colorate. Il ferro ed il platino abbruciano con luce bianco-brillante; il piombo con luce purpurea; lo stagno e l'oro con luce bianco-azzurrognola; la luce dello zinco è mista di bianco e di rosso; finalmente il rame e l'argento danno una luce verde.

Facendo passare la corrente in fili metallici di diametri e di lunghezze uguali, Children constatò che quelli la cui conducibilità elettrica è minore, si scaldano maggiormente; donde conchiuse che gli effetti calo-

rifici della pila sono dovuti alla resistenza che incontra la corrente nell'attraversare il conduttore che congiunge i poli.

Abbiamo già notato (687) che gli effetti calorifici dipendono più dalla quantità del fluido elettrico che circola nella corrente, che dalla tensione; in altri termini, dipendono più dalla superficie delle coppie che dal loro numero. Infatti, con una sola coppia di Wollaston, il cui zinco abbia $0^m,20$ sopra $0^m,15$, si giunge a fondere un filo di ferro.

Collocando nella corrente un filo metallico isolato in un tubo di vetro pieno d'acqua, facente l'ufficio di calorimetro, Ed. Becquerel trovò che lo svolgimento del calorico, prodotto dal passaggio dell'elettricità attraverso ai corpi solidi, presenta le leggi seguenti:

1.ª *La quantità di calorico sviluppata è in ragione diretta del quadrato della quantità di elettricità che passa in un tempo dato.*

2.ª *Questa quantità di calorico è in ragione diretta della resistenza del filo al passaggio dell'elettricità.*

3.ª *Qualunque sia la lunghezza del filo, purchè il suo diametro sia dovunque uguale e passi la stessa quantità di elettricità, l'innalzamento di temperatura è lo stesso in tutta l'estensione del filo.*

4.ª *Per una stessa quantità di elettricità, l'innalzamento di temperatura, in differenti punti del filo, è in ragione inversa della quarta potenza del diametro.*

Favre e Silbermann, mediante il loro calorimetro a mercurio, hanno constatato che la quantità totale di calorico che si sviluppa nelle differenti parti di una coppia voltiana chiusa, proporzionalmente alla resistenza di ciascuna di queste parti, è precisamente equivalente al calorico sviluppato nella coppia dall'azione chimica tra l'acido solforico e lo zinco.

Gli effetti calorifici delle correnti sono più difficili ad essere osservati nei liquidi, perchè questi corpi hanno un calorico specifico maggiore dei solidi, ed i gas che si svolgono assorbono una grande quantità di calorico latente. Per es., nella decomposizione dell'acqua, si riconosce che l'elevazione di temperatura è minore al polo negativo, dove il volume dell'idrogeno che si svolge è doppio di quello dell'ossigeno che si raccoglie al polo positivo, come si vedrà ben tosto (695).

690. **Effetti luminosi, arco voltiano.** — La pila elettrica è, dopo il sole, la sorgente di luce la più intensa che si conosca. I suoi effetti luminosi si manifestano con scintille o coll'incandescenza delle sostanze che riuniscono i due poli o coll'arco voltiano.

Si ottengono già brillanti scintille con otto o dieci coppie di Bunsen, facendo comunicare uno degli elettrodi con una lima grossolana, e sfregando l'altro elettrodo sui denti della medesima. Queste scintille sono evidentemente dovute alla ricombinazione delle elettricità contrarie dei due poli.

Per l'incandescenza dei conduttori che traversano, le correnti offrono effetti luminosi rimarchevoli. Un filo di ferro o di platino che riunisca i due poli di una forte pila, e che sia abbastanza grosso per non essere fuso, diventa incandescente e proietta una viva luce per tutto il tempo che la pila è in attività. Se il filo è avvolto ad elice su sè stesso, l'effetto luminoso aumenta.

Si ottiene soprattutto un bell'effetto di luce elettrica facendo comunicare i due elettrodi con due coni di carbone di coke previamente riscaldati fortemente, indi lasciati raffreddare e disposti come mostra la

figura 547. Il carbone *b* è fisso ed il carbone *a* può essere innalzato od abbassato per mezzo di un'asta dentata alla quale è fissato, e di un rocchetto che si fa girare a mano per mezzo di un bottone *c*. Posti dapprima i due carboni a contatto, si fa passare la corrente; ben tosto il punto di contatto acquista uno splendore abbagliante che si estende a poco a poco ad una certa distanza dalle punte di carbone. Allora si può sollevare il carbone superiore senza che la corrente si interrompa; le due elettricità si ricompongono nell'intervallo che separa i carboni, e questo spazio è occupato da un arco luminoso splendentissimo che chiamasi *arco voltiano*.

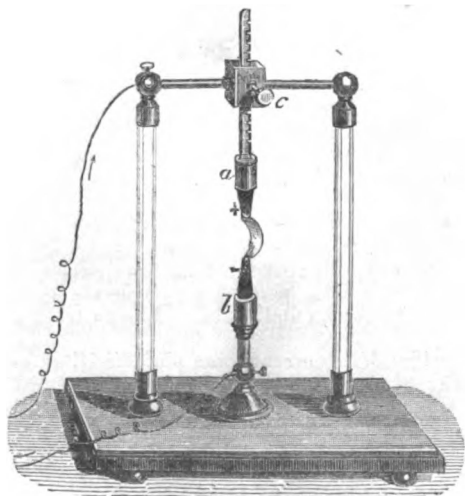



Fig. 547.

La lunghezza di questo arco varia colla forza della corrente. L'intervallo necessario tra i due carboni per farlo nascere presentando una grande resistenza alla corrente, si deve far uso di numerose coppie associate in una serie unica, o in un piccolo numero di serie parallele. Nell'aria, l'arco voltiano può raggiungere una lunghezza di 7 centimetri, con una pila di 600 coppie disposte in sei serie parallele di 100 ciascuna, quando il carbone positivo sia in alto, come nella figura 547; se è in basso, l'arco è più corto di quasi 2 centimetri. Quando i carboni sono disposti orizzontalmente, essi devono essere più ravvicinati, l'arco spegnendosi più facilmente; ciò che dipende dall'aumentarsi il raffreddamento dell'aria. Nel vuoto, la distanza tra i due carboni può essere molto maggiore che nell'aria; infatti, l'elettricità non incontrandovi resistenza, passa fra i due carboni anche prima che siansi posti a contatto. L'arco voltiano può anche prodursi nei liquidi; ma in tal caso è meno lungo, e il suo splendore è molto diminuito.

Quando si presenta all'arco voltiano una potente calamita, esso viene da quest'ultima attratto, il che è dovuto all'azione delle calamite sulle correnti (712).

Alcuni fisici hanno riguardato l'arco voltiano come formato da una successione rapidissima di vive scintille; ma, in generale, si ammette che è dovuto alla corrente elettrica, la quale è tradotta dal polo positivo al negativo per mezzo di molecole incandescenti che sono volatilizzate e trasportate nel senso della corrente, cioè dal polo positivo verso il negativo. Infatti, quanto più facilmente gli elettrodi sono disaggregati dalla corrente, tanto più si può allontanarli senza interrompere la corrente stessa. Il carbone, che è una sostanza assai friabile, dà l'arco luminoso il più lungo.

Davy, pel primo a Londra, nel 1801, fece l'esperienza della luce elettrica per mezzo di due coni di carbone e d'una pila a truogoli di 2000 coppie, le cui piastre avevano il lato di circa 11 centimetri. Davy usava carbone di legno leggero, spento dapprima allo stato d'incandescenza, in un bagno di mercurio che, penetrando nei pori del carbone, ne aumentava la conducibilità. Siccome il carbone di legno brucia rapidamente nell'aria, bisognava operare nel vuoto; il che si otteneva collocando i due coni di carbone in un uovo elettrico a robinetto, come quello rappresentato dalla figura 515 (546). Oggidì, per queste esperienze, si adopera unicamente il carbone di coke, proveniente dai residui nelle storte del gas illuminante; questo carbone, che è duro e compatto, può essere tagliato in verghe, e siccome brucia lentamente nell'aria, non è necessario operare nel vuoto. Quando si fa l'esperimento nel vuoto, non avvi combustione, ma i carboni si consumano ancora, principalmente quello che trovasi al polo positivo, il che dimostra esservi volatilizzazione e trasporto di carbone dal polo positivo al negativo.

Gli è coll'arco voltiano che si produce l'illuminazione elettrica della quale numerosi tentativi sono stati fatti sulle piazze di Parigi, nelle feste pubbliche, ed anche in opificii. Con 100 coppie di Bunsen, si ottiene già una bella luce. Ma finora il suo costo sorpassa di molto quello del gas; di più, la vivacità stessa della sua luce è un ostacolo al suo adottamento, giacchè il suo splendore ferisce la vista.

691. **Esperimento di Foucault.** — Si deve a Foucault un bello esperimento che consiste nel proiettare, per mezzo di lenti, l'immagine dei coni di carbone rappresentati dalla figura 547, sopra un diaframma, nella camera oscura, al momento in cui si produce la luce elettrica (fig. 548). Questa esperienza, che si istituisce per mezzo del microscopio foto-elettrico già descritto (fig. 403, pag. 427), fornisce il mezzo di distinguere benissimo i due carboni incandescenti, e si vede il carbone positivo incavarsi e diminuire, mentre l'altro aumenta. I globuli rappresentati sui due carboni provengono dalla fusione di una piccola quantità di silice contenuta nel coke di cui essi sono formati. Quando incomincia a passare la corrente, diventa luminoso pel primo il carbone negativo; ma il carbone positivo è il più brillante, ed è anche quello che si consuma più presto; perciò conviene sceglierlo di maggiori dimensioni.

692. **Regolatore della luce elettrica.** — Quando si vuole applicare la luce elettrica alla illuminazione, importa che essa conservi la continuità di splendore che presentano gli altri sistemi di illuminazione. Ora, non basta per ciò che la corrente della pila sia costante, ma bisogna inoltre

che l'intervallo fra i due carboni resti sensibilmente invariato, quindi è necessario che essi possano avvicinarsi a misura che si consumano. Furono immaginati parecchi apparati onde raggiungere questo scopo; quello che noi descriveremo è dovuto a Duboscq.

In questo regolatore, i due carboni sono mobili, ma con velocità ineguali, sensibilmente in proporzione al loro consumo. Il movimento è

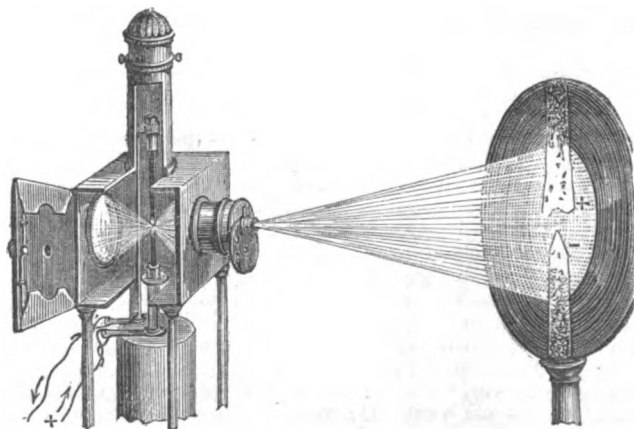



Fig. 548.

loro trasmesso mediante un piccolo tamburo collocato sull'asse xy (fig. 549). Questo tamburo fa girare, nel senso delle frecce, due ruote a e b, i cui diametri stanno fra loro come 1 a 2, e che trasmettono il loro movimento a due dentiere C e C'. La prima fa discendere il carbone positivo p col mezzo di un'asta che scivola nel tubo H, mentre la seconda fa ascendere, due volte meno presto, il carbone negativo n. Il bottone y serve a ricaricare il tamburo, e nello stesso tempo muovere a mano il carbone positivo; col bottone x si può muovere pure a mano il carbone negativo e indipendentemente dal primo. Per ciò, l'asse dei due bottoni x e y è formato da due parti in rapporto fra di loro soltanto per un contatto un po' duro. Per cui tenendo fermo fra le dita il bottone x, si può girare il solo bottone y; e, reciprocamente, tenendo fermo quest'ultimo, si può far girare l'altro. Ma quando il tamburo funziona, il contatto è molto forte perchè le due ruote a e b e le due dentiere partecipino al movimento.

Ciò posto, messi i due carboni a contatto, si fa arrivare, mediante il filo E, la corrente di una forte pila, per es. di 50 a 60 elementi. La corrente ascende in H, discende pel carbone positivo, poi pel carbone negativo, e guadagna tutto l'apparecchio, senza passare però nella dentiera C, nè nel pilastrino alla destra sul margine del piatto N, essendo questi pezzi isolati da dischi d'avorio collocati alla loro parte inferiore. La corrente riducesi finalmente nel rocchetto B che forma il piede del regolatore e ritorna alla pila pel filo E'. Il rocchetto è munito internamente di un tubo di ferro dolce, che si calamita per

tutto il tempo che la corrente passa nel rocchetto, e si scalamita appena cessa di passare: or bene, questa calamita temporaria è il regolatore. A questo effetto, esso agisce per attrazione sopra un'armatura di ferro dolce A, aperta al suo centro per lasciar passare la dentiera C', e fissata all'estremità di una leva che sta in bilico su due punti d'appoggio *mm*, e trasmette una leggera oscillazione ad un pezzo *d*, che, mediante una prominenza *i*, fa ingranare la ruota *z*, come vedesi più

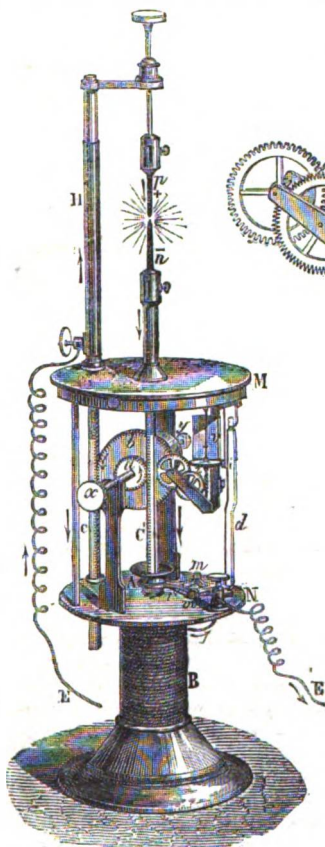
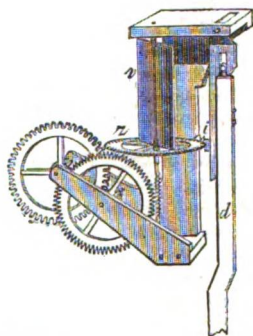



Fig. 549. Fig. 550.

in grande nella figura 550. Per mezzo di una vite senza fine e di una serie di ruote dentate, l'impulso è trasmesso al tamburo, e le dentiere essendo fisse, rimangono fissi anche i carboni. Ciò è quanto avviene fintantochè la calamitazione è abbastanza forte nel rocchetto per mantenere l'armatura A abbassata; ma a misura che i carboni si consu-

mano, si scostano maggiormente l'uno dall'altro, la corrente, continuando tuttavia a passare sotto forma di arco voltiano (690), si indebolisce, ed arriva un momento in cui l'attrazione della calamita non può più fare equilibrio ad una molla *r*, che tende costantemente a sollevare l'armatura. Essa allora risale, il pezzo *d* fa disingranare la prominenza *i*, il tamburo funziona, ed i carboni si avvicinano, ma non fino a contatto, perchè l'intensità della corrente riprendendo il di sopra, l'armatura A è attratta e la stabilità dei carboni ricomincia. Il loro scostamento non variando così che entro limiti ristrettissimi, si ottiene con questo apparecchio una luce regolare e continua fino a che i carboni siansi completamente consumati.

Egli è con questo regolatore che Duboscq illumina il suo *apparecchio fotogenico* rappresentato nella figura 403, e ripete col più grande successo tutte le esperienze di ottica che facevansi altre volte colla luce solare.

693. **Proprietà ed intensità della luce elettrica.** — La luce elettrica gode le stesse proprietà chimiche della luce solare: essa determina la combinazione di una mescolanza di cloro e di idrogeno, agisce chimicamente sul cloruro d'argento, ed, applicata alla fotografia, dà magnifiche prove, rimarchevoli pel calore dei tuoni; tuttavia non è applicabile al ritratto perchè affatica di troppo la vista. Infine, Hervé-Mangon ha recentemente osservato che la materia verde dei vegetabili si sviluppa sotto l'influenza della luce elettrica come sotto quella della luce solare.

La luce elettrica, trasmessa attraverso ad un prisma, dà uno spettro come la luce solare, donde si deduce che essa non è semplice. Wollaston e principalmente Fraünhoffer, trovarono che lo spettro della luce elettrica differisce da quello delle altre luci e dalla luce solare, perchè in esso si trovano parecchie righe assai chiare, delle quali quella particolarmente che si trova nel verde è di una chiarezza quasi brillante in confronto delle altre. Wheatstone osservò che formando gli elettrodi con diversi metalli, lo spettro e le righe sono modificate; ciò che è conforme a quanto si è detto della analisi spettrale (494); infine, Despretz constatò che le righe brillanti sono fisse ed indipendenti dall'intensità della corrente.

Col carbone, le righe sono notevoli pel loro numero e la loro chiarezza: collo zinco, lo spettro è caratterizzato da una tinta verde-pomo assai spiegata; coll'argento, si ha un verde assai intenso; col piombo, predomina la tinta violacea, e così di seguito coi diversi metalli.

Bunsen, esperimentando con 48 coppie ed allontanando i carboni di 7 millimetri, trovò che l'intensità della luce elettrica equivale a quella di 572 candele. Ma questa esperienza fu fatta con coppie nelle quali il carbone era esterno e lo zinco interno, e queste coppie davano effetti molto minori di quelle ove il carbone è interno. Quindi, la luce di 48 di queste ultime coppie supera di molto quelle di 572 candele.

Fizeau e Foucault, che cercarono di paragonare la luce elettrica alla luce solare, non confrontarono le quantità di luce emesse da queste due sorgenti, ma i loro effetti chimici sull'ioduro d'argento delle lastre di Daguerre. Adunque, i risultati ottenuti non fecero conoscere l'intensità ottica della luce elettrica, ma la sua intensità chimica.

Rappresentando con 1000 l'intensità della luce solare a mezzodì, Fizeau e Foucault trovarono che quella della luce di 46 coppie di Bunsen, a carbone interno, era rappresentata da 235, e quella di 80 coppie, sol-

tanto da 238. Da questi numeri risulta che l'intensità della luce non cresce notevolmente aumentando il numero delle coppie; ma l'esperienza dimostra che essa cresce di molto colla loro superficie. Infatti, con tre serie di 46 coppie ciascuna, riunite parallelamente in modo che i loro poli positivi concorressero in un solo, e così fosse anche dei loro poli negativi, il che equivaleva a triplicare le superficie delle coppie (686), l'intensità, quando la pila era in attività già da un'ora, fu di 385: numero che rappresenta più di un terzo d'intensità della luce solare.

Despretz, nel riferire le sue numerose esperienze sulla pila, fece osservare che non sono mai soverchie le precauzioni onde preservarsi dagli effetti luminosi della medesima, quando sono portati ad una certa intensità. La luce di 100 coppie può, dice egli, produrre malattie di occhi assai dolorose. La luce ottenuta con 600 coppie può in un solo istante produrre dei violentissimi dolori di capo e di occhi, ed abbruciare la pelle del viso, come lo farebbe una forte insolazione. Perciò, in queste esperienze, è indispensabile il portare occhiali a vetro azzurro carico.

694. **Effetti meccanici della pila.** — Indicansi con questo nome dei trasporti di materie solide o liquide operati dalle correnti. Nella formazione dell'arco voltiano, per es. (690), videsi esservi trasposto delle molecole di carbone dal polo positivo al polo negativo: questo è un effetto meccanico.

Il trasporto de' liquidi operato dalle correnti fu osservato la prima volta da Porret nell'esperienza seguente: avendo diviso un vaso di vetro in due scompartimenti per mezzo di un diaframma permeabile consistente in una membrana di vescica, versò dell' acqua allo stesso livello, nei due scompartimenti, e vi immerse due elettrodi di platino, in comunicazione coi poli di una pila di 80 elementi. Ora, nello stesso tempo che l'acqua era decomposta, una parte del liquido venne trasportata, nel senso della corrente, attraverso la membrana, dallo scompartimento positivo al scompartimento negativo, dove il livello si innalzò al disopra di quello dell'altro scompartimento. Questa esperienza non riesce con dell'acqua che tenga in soluzione un sale od un acido, perchè il liquido non presenta allora bastante resistenza alla corrente.

Si possono inoltre rapportare agli effetti meccanici delle correnti, i suoni che rende un'asta di ferro dolce, quando la si sottomette all'azione magnetica di una corrente discontinua, fenomeno che sarà descritto più tardi (734).

695. **Effetti chimici della pila, decomposizione dell'acqua, elettrolizzazione.** — Abbiamo già notato che gli effetti chimici della pila dipendono piuttosto dal numero delle coppie che dalla loro grandezza, perchè, nelle decomposizioni chimiche, l'azione della corrente, esercitandosi sopra sostanze poco conduttrici, bisogna aumentare la tensione e quindi il numero delle coppie.

La prima decomposizione operata dalla pila fu quella dell'acqua, ottenuta, nel 1800, da due Inglesi, Carlisle e Nicholson, con una pila a colonna. Quattro o cinque coppie di Bunsen bastano per decomporre con rapidità l'acqua, quando però tenga essa disciolto un sale od un acido il quale ne aumenti la sua conducibilità; l' acqua pura si decompone assai lentamente. La figura 551 rappresenta l'apparato che si adopera per decomporre l'acqua colla pila e raccogliere l'ossigeno e l'idrogeno che si sviluppano. Esso è composto di un vaso conico di vetro unito

con mastice ad un piede di legno. Dal fondo di questo vaso si elevano due fili di platino *h* ed *n*, che comunicano con due viti di pressione di rame, fissate ai lati dell'apparato e destinate a ricevere gli elettrodi della pila. Dopo aver empito il vaso di acqua leggermente acidulata, si collocano sopra i fili di platino due campanelle piene d'acqua; indi si stabilisce la corrente Tosto l'acqua viene decomposta in ossigeno ed idrogeno, i quali si svolgono in bolle entro le campanelle. Allora si osserva che la campanella positiva si empie di ossigeno e la negativa di idrogeno; inoltre, il volume di questo ultimo gas è doppio di quello del primo. Questa esperienza fornisce adunque l'analisi qualitativa e l'analisi quantitativo dell'acqua.

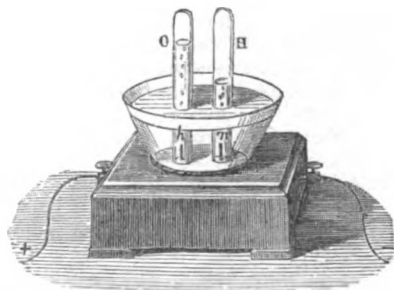



Fig. 551.

Faraday indicò coi nomi di *elettrolitri* le sostanze che al pari dell'acqua sono decomposte dalla corrente ed i cui elementi vengono completamente separati; e chiamò *elettrolizzazione* o *elettrolisi* il fatto stesso della decomposizione per mezzo della corrente voltiana.

696. **Voltametro**. — L'apparecchio adoperato per la decomposizione dell'acqua (fig. 551), ricevette da Faraday il nome di *voltametro,* perchè egli lo applicò alla misura dell'intensità delle correnti poderose, nello stesso modo che il galvanometro serve per misurare quella delle correnti deboli. L'applicazione del voltametro, alla misura delle correnti, è fondato sul principio scoperto da Faraday, che, nelle decomposizioni elettro-chimiche, *la quantità, in peso, degli elementi separati è proporzionale alla quantità di elettricità che passa nella corrente.* Per conseguenza, nell'esperimento suddescritto, il volume dei gas raccolto, può servire a misurare l'intensità chimica della corrente. Infatti, basandosi sul principio, che *le correnti decompongono, in tempi eguali, dei pesi di acqua proporzionali alla loro intensità*, si è preso per *unità d'intensità,* quella della corrente che *svolge* 1 *grammo d'idrogeno al minuto.*

Tuttavia, importa osservare che la quantità di gas prodotta dalla decomposizione dell'acqua, non dipende soltanto dall'intensità della corrente, ma anche dal grado di acidità dell'acqua, dalla natura, dal volume e dalla distanza dei fili o delle lamine immerse nel liquido per trasmettergli la corrente. Si deve quindi aver cura di adoperare sempre lo stesso apparato, od apparati affatto simili, altrimenti i risultati non sono comparabili.

Il voltametro che abbiamo descritto è un *voltametro chimico;* si immaginarono anche dei *voltametri calorifici,* destinati a misurare l'intensità delle correnti dalla quantità di calore che si sviluppano nei circuiti solidi o liquidi che percorrono. Ma tutti questi voltametri, sì chimici che calorifici, sono lontani dall'essere strumenti di precisione. I migliori di tutti gli strumenti atti a paragonare l'intensità delle correnti sono quelli che descriveremo in seguito sotto il nome di *galvanometro* e di *bussola dei seni.*

697. **Leggi delle decomposizioni chimiche operate colla pila.** — Faraday, pel primo, ha fatto conoscere questa legge rimarchevole delle decomposizioni fatte della pila: *Quando una stessa corrente agisce successivamente su di una serie di dissoluzioni, i pesi degli elementi separati sono nello stesso rapporto dei loro equivalenti chimici.*

Le esperienze che condussero a questa legge erano fatte per mezzo del voltametro riuniti tra loro da fili di platino e attraversati dalla stessa corrente. Si trovò così con delle soluzioni saline di diversi metalli, che le quantità di metallo deposte sui fili negativi, nei voltametri, erano rispettivamente proporzionali agli equivalenti di questi metalli.

698. **Decomposizione degli ossidi metallici e degli acidi.** — Le correnti esercitano sugli ossidi metallici la stessa azione che sull'acqua; li riducono tutti trasportando l'ossigeno al polo positivo ed il metallo al polo negativo. Davy, pel primo, nel 1807, decompose la potassa sottomettendone un pezzetto umido ad una corrente di 250 coppie. Al polo positivo si portò l'ossigeno, e al polo negativo un metallo nuovo che era il potassio. Ottenne nello stesso modo il sodio; ma questi metalli a cagione della loro grande affinità per l'ossigeno, bruciando nell'aria a misura che si rendono liberi, è preferibile di operare come Seebeck ha fatto dappoi.

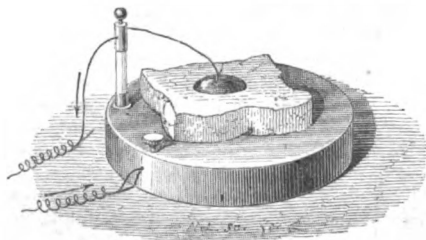



Fig. 552.

In un frammento di potassa si pratica una cavità che si riempie di mercurio; poi, mediante una lamina metallica sulla quale si pone, si fa comunicare la potassa col polo positivo di una forte pila (fig. 552) e il mercurio col polo negativo. Il potassio, portandosi allora sul mercurio, si amalgama con esso senza bruciare. Distillando in seguito questo amalgama nell'olio di nafta, si ha per residuo il potassio. Si opera nella stessa maniera colla soda.

Gli ossacidi vengono decomposti come gli ossidi; l'ossigeno si porta sempre al polo positivo ed il radicale al negativo. Anche gli idracidi sono decomposti, ma il loro radicale si porta al polo positivo e l'idrogeno al polo negativo.

In generale, tutti i composti binari si comportano in modo analogo sotto l'azione della pila, vale a dire che uno degli elementi si porta al polo positivo e l'altro al negativo. I corpi semplici che, nelle decomposizioni così operate colla pila, si portano verso il polo positivo, ricevettero il nome di corpi *elettro-negativi*, e quelli che si portano al polo negativo furono detti *elettro-positivi*. L'ossigeno, in tutte le sue combi-

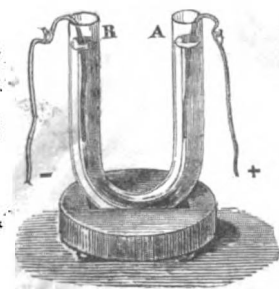
nazioni è sempre elettro-negativo; il potassio elettro-positivo. Gli altri corpi semplici ora sono elettro positivi, ora elettro-negativi, secondo i corpi con cui si trovano combinati. Il solfo, per es., che è elettro-positivo coll'ossigeno, è elettro-negativo coll'idrogeno.

699. **Decomposizioni dei sali.** — I sali ternari allo stato di soluzione sono tutti decomposti dalla pila, e presentano allora degli effetti che variano colle affinità chimiche e colla energia delle correnti. Coi metalli delle quattro ultime sezioni, si ha decomposizione non solamente del sale, ma anche dell'ossido, recandosi l'acido coll'ossigeno dell'ossido al polo positivo e il metallo al polo negativo. Coi metalli alcalini e coi metalli terrosi, la decomposizione sembra seguire un'altra legge; poichè l'acido raccogliendosi ancora al polo positivo, si trova al polo negativo l'ossido non ridotto. Per lungo tempo si spiegò questo deposito di ossido al polo negativo per la grande affinità del metallo per l'ossigeno, affinità in virtù della quale la stabilità dell'ossido è tale, che esso è irreducibile dalla corrente.

Al presente si riconduce generalmente la decomposizione dei sali alcalini e dei sali terrosi alla stessa legge di quella dei sali delle altre sezioni, ammettendo che l'ossido è ancora decomposto, il suo ossigeno recandosi coll'acido al polo positivo e il metallo solo al polo negativo; ma che là, in virtù della sua grande affinità per l'ossigeno, il metallo decomponga l'acqua impossessandosi del suo ossigeno e riproducendo così l'ossido che si depone.

Infatti, quando la corrente è un po' intensa, si osserva che v'ha sviluppo di ossigeno al polo positivo e di idrogeno al polo negativo; ciò che si potrebbe tuttavia spiegare dicendo che accade non solamente decomposizione del sale, ma anche dell'acqua che lo tiene in soluzione.

Fig. 553.

Nei corsi, si dimostra la decomposizione dei sali per mezzo della pila mediante un tubo di vetro ricurvo (fig. 553), nel quale si versa una soluzione di solfato di potassa o di soda, colorata in turchino con sciroppo di violetto. Avendo immerso nelle due branche del tubo due lamine di platino, si mettono in comunicazione cogli elettrodi della pila. In capo a pochi minuti, se si usano tre o quattro coppie di Bunsen, si osserva che il ramo positivo A si colora in rosso, e il ramo negativo B in verde; ciò che mostra che l'acido del sale si è portato al polo positivo, e la base al polo negativo; giacchè si sa che il siroppo di viole ha la proprietà di arrossare cogli acidi e di inverdire colle basi.

La decomposizione dei sali colla pila ha ricevuto importanti applicazioni nella galvanoplastica, nella indoratura, nella inargentatura, operazioni che descriveremo fra poco (704).

700. **Anelli di Nobili.** — Decomponendo i sali colla pila, Nobili ottenne sulle lastre metalliche degli anelli colorati di tinte estremamente brillanti. Siccome questi anelli risultano di strati metallici sottilissimi che si depongono sulle piastre, la loro teoria si spiega colla teoria degli anelli colorati di Newton (562). Per ottenerli, si colloca sul fondo

di una soluzione di acetato di piombo o di solfato di rame, una lastra metallica posta in comunicazione col polo negativo di una debole pila; poi si chiude il circuito con un filo di platino che comunica col polo positivo e si immerge nella soluzione perpendicolarmente alla piastra ed assai vicino alla medesima. Allora, dirimpetto alla punta, si depositano degli anelli dotati di una colorazione assai vivace, la quale varia coi sali che trovansi in dissoluzione e colla natura delle piastre.

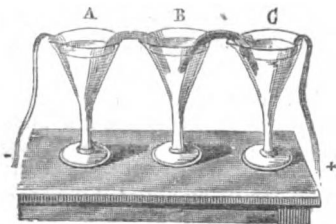
701. **Albero di Saturno.** — Quando si immerge in una soluzione salina un metallo più ossidabile di quello che forma la base del sale, il metallo di quest'ultimo viene precipitato dal primo e si deposita lentamente sul medesimo, mentre il metallo immerso gli si sostituisce, equivalente per equivalente, al metallo del sale. Questa precipitazione di un metallo per mezzo di un altro è attribuita in parte alla affinità, in parte all'azione elettro-chimica di una corrente la quale sarebbe dovuta al contatto del metallo precipitato col metallo precipitante, o piuttosto all'azione dell'acido contenuto nella soluzione, giacchè si è riconosciuto essere necessario che quest'ultima sia leggermente acida. Allora, l'eccesso di acido libero agisce sul metallo precipitante e determina la corrente che decompone il sale.

Un effetto rimarchevole della precipitazione di un metallo per mezzo di un altro è l'*albero di Saturno.* Chiamasi così una serie di ramificazioni brillanti che si ottengono collo zinco nelle soluzioni di acetato di piombo. Per ciò, si empie una bottiglia di vetro con una soluzione ben limpida di questo sale, poi si chiude la bottiglia con un turacciolo di sughero, al quale è fissato un pezzo di zinco che è a contatto con dei fili di ottone, i quali divergendo, si immergono nella soluzione. Chiusa esattamente la bottiglia, la si lascia in quiete. Dopo alcuni giorni si depositano sui fili di ottone delle brillanti laminette di piombo cristallizzato, le quali assomigliano ad una vegetazione che venne detta *albero di Saturno,* dal nome che gli antichi alchimisti davano al piombo. Si è del pari dato il nome di *albero di Diana* al deposito metallico prodotto dal mercurio nel nitrato d'argento.

702. **Trasporti operati dalle correnti.** — Nelle decomposizioni chimiche operate dalla pila, non v'ha solamente separazione degli elementi, ma trasporto degli uni al polo positivo e degli altri al polo negativo. Questo fenomeno è stato dimostrato da Davy mediante numerose esperienze; noi citeremo le due seguenti:

1.ª Avendo versato una soluzione di solfato di soda in due capsule riunite da un lucignolo inumidito della stessa soluzione, si immerge l'elettrodo positivo in una delle capsule e il negativo nell'altra. Il sale è allora decomposto e, in capo a qualche ora, tutto l'acido solforico si trova nella prima capsula e la soda nella seconda.

Fig. 554.

2.ª Tre bicchieri A, B, C (fig. 554), contenenti, il primo una soluzione di solfato di soda, il secondo dello sciroppo di violetto allungato, e il terzo dell'acqua pura, si fanno comunicare tra loro con lucignoli di amianto inumiditi, poi si fa passare, per esempio, la corrente da C

verso A. Il solfato del bicchiero A è allora decomposto, e bentosto la soda resta nel bicchiere che è negativo, mentre tutto l'acido è trasportato nel bicchiero C che è positivo. Se, al contrario, la corrente va da A verso C, è la soda che si reca in C, mentre tutto l'acido rimane nel bicchiero A; ma nei due casi si osserva questo fenomeno rimarchevole, che la tintura di violetto del vaso B non è nè arrossata nè inverdita per il passaggio dell'acido o della base nella sua massa, fenomeno di cui vediamo qui sotto la spiegazione.

703. **Ipotesi di Grotthuss sulle decomposizioni elettro-chimiche.** — Grotthuss ha dato delle decomposizioni elettro-chimiche operate dalla pila la teoria seguente. Adottando dapprima la ipotesi che, in qualunque composto binario, o che si comporti come tale, uno degli elementi è elettro-positivo, e l'altro elettro-negativo (698) questo scienziato ammette che sotto l'influenza delle elettricità contrarie degli elettrodi della pila, si produca, nel liquido, in cui questi vengono immersi, una serie di decomposizioni e di ricomposizioni successive da un polo all'altro, di modo che non vi sono che gli elementi delle molecole estreme che, non ricombinandosi, rimangono liberi e si portano ai poli. L'acqua, per esempio, essendo formata da un atomo di ossigeno e da due atomi di idrogeno, e il primo gas essendo elettro-negativo, il secondo elettro-positivo, quando il liquido è attraversato da una corrente sufficientemente energica, la molecola *a*, in contatto col polo positivo, si orienta come mostra la figura 555, vale a dire che l'ossigeno si trova attratto e l'idrogeno respinto. L'ossigeno di questa molecola si rende allora sull'elettrodo positivo, l'idrogeno posto in libertà si unisce immediatamente all'ossigeno della molecola *b*, poi l'idrogeno di quest'ultima all'ossigeno della molecola *c*, e così di seguito, fino al polo negativo, dove gli ultimi atomi di idrogeno sono posti in libertà e si recano al polo. La stessa teoria si applica agli ossidi metallici, agli acidi e ai sali, e spiega come, nella esperienza citata nel paragrafo precedente, il siroppo di viole del vaso B non sia stato nè arrossato nè inverdito.

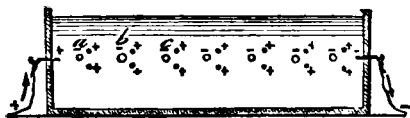



Fig. 555.

GALVANOPLASTICA, INDORATURA ED INARGENTATURA

704. Galvanoplastica. — La decomposizione dei sali operata dalla pila ricevette un'importante applicazione nella *galvanoplastica;* chiamasi con tal nome l'arte di modellare i metalli precipitandoli dalle loro soluzioni saline per mezzo dell'azione lenta di una corrente elettrica. Finora, era generalmente ammesso che la galvanoplastica fosse stata inventata quasi contemporaneamente, nel 1838, da Jacobi, in Russia, e da Spencer, in Inghilterra; ma pare invece che il vero inventore sia Jacobi. (Vedi il *Cosmos* del 9 marzo 1860, pag. 261.)

Quando si vuol riprodurre una medaglia o qualunque altro oggetto per mezzo della galvanoplastica, bisogna prima procurarsene una impronta in incavo, sulla quale possa depositarsi lo strato metallico che deve riprodurre la medaglia in rilievo. Se questa è di metallo, il pro-

cesso più semplice per fare la forma è quello di adoperare la lega fusibile d'Arcet, composta di 5 parti di piombo, 8 di bismuto e 3 di stagno. Si versa questa lega fusa in una sottocoppa poco profonda, e, quando è vicina a solidificarsi, vi si lascia cadere la medaglia in piano, da una piccola altezza, procurando che la lega rimanga poi in quiete. Quando la lega è raffreddata, basta darle una piccola scossa perchè la medaglia si distacchi. Allora si cinge la forma con un filo di rame destinato a porla in comunicazione col polo negativo della pila, poi si ricopre il suo contorno e la faccia posteriore con un sottile strato di cera fusa, acciocchè il deposito metallico si precipiti soltanto sull'impronta.

Ciò posto, per riprodurre in rame una medaglia, si prende una piccola vasca piena di una soluzione satura di solfato di rame e collocatevi al disopra due verghe di ottone B e D (fig. 556), comunicanti l'una

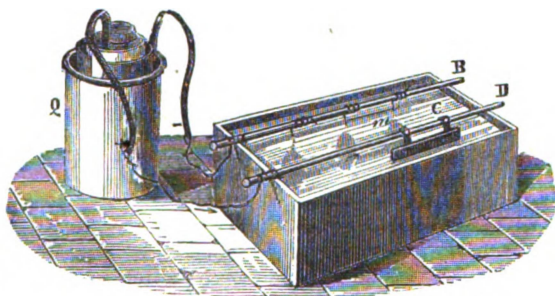



Fig. 556

col polo positivo e l'altra col polo negativo di una coppia di Bunsen, si sospende alla prima la forma *m*, già preparata, ed all'altra una piastra di rame rosso C. Trovandosi per tal modo chiuso il circuito, il solfato di rame vien decomposto; il suo acido e l'ossigeno dell'ossido si portano al polo positivo, mentre il solo rame si porta al polo negativo, depositandosi lentamente sulla forma sospesa della verga B; in tal modo si ponno sospendere anche parecchie forme in una volta. Dopo quarantotto ore, la forma è coperta di uno strato di rame solido e resistente, ma non aderente. Però, onde impedire totalmente l'aderenza, si deve, prima dell'operazione, strofinare la forma con una spazzola fina leggermente cospersa di una sostanza grassa, o passarla rapidamente sulla fiamma di una sostanza resinosa onde formarvi uno strato di materia eterogenea.

Se la medaglia che si vuol riprodurre è in gesso, non si può farne la forma di lega di d'Arcet. Allora la si immerge in un bagno di stearina fusa a 70 gradi; estraendola tosto, essa si asciuga quasi istantaneamente, il che proviene dal penetrare la stearina nei pori del gesso. Lasciata raffreddare la medaglia, la si ricopre con un sottile strato di piombaggine strofinandola con una fina spazzola cospersa di questa sostanza, poi la si circonda con una lista di cartone e vi si versa sopra della stearina appena fusa: questa, solidificandosi, riproduce fedelmente

in incavo la medaglia primitiva. Si leva la forma così ottenuta, la quale, a motivo dello strato di piombaggine interposto, non è aderente al gesso, e la si ricopre alla sua volta di piombaggine onde renderla conduttrice. In seguito, si sospende questa forma così preparata al polo negativo della pila, per mezzo di un filo di rame, come abbiam detto più sopra.

Si fanno delle buone forme anche colla gutta-percha. Perciò, si incomincia col ricoprire di piombaggine l'oggetto di cui si vuol formare l'impronta onde non aderisca alla gutta-percha. Poi, fatta rammollire nell'acqua calda una certa quantità di questa sostanza, la si applica sul pezzo che si vuol riprodurre, comprimendola alquanto. Lasciatala raffreddare, si distacca la gutta-percha che è poco aderente, e si ha su questa sostanza una fedelissima impronta in incavo dell'oggetto; altro non rimane che renderla conduttrice per mezzo della piombaggine, come si è detto più sopra per la stearina. Sospendendo l'impronta così preparata al polo negativo della pila, in una soluzione concentrata di solfato di rame, si ha, nello spazio di quarantotto ore, una riproduzione in rame dell'oggetto.

La piastra di rame rosso C, collocata al polo positivo, non serve soltanto a chiudere il circuito, ma ben anche a mantenere la soluzione in uno stato costante di concentrazione; infatti, l'acido e l'ossigeno che si portano al polo positivo, si combinano col rame della piastra, e riproducono costantemente una quantità di solfato di rame uguale a quella che venne decomposta dalla corrente.

Per la galvanoplastica si preferisce in generale la pila di Daniell (680), attesa l'uniformità de' suoi effetti; ma si può operare benissimo anche con una sola coppia di Bunsen, principalmente adoperando delle coppie piccolo modello, ed acidulando pochissimo l'acqua nella quale sta immerso lo zinco.

705. **Indoratura galvanica.** — Prima che si conoscesse la decomposizione dei sali per mezzo della pila, si eseguivano le indorature a mercurio. A tal uopo si amalgamava l'oro, e si applicava l'amalgama sull'oggetto che si voleva indorare, indi lo si collocava in un fornello per elevarne la temperatura; per tal modo, il mercurio si volatilizzava e rimaneva sull'oggetto soltanto un sottilissimo strato di oro. Lo stesso processo si applicava all'inargentatura; ma a questo processo costoso ed insalubre, oggidì si sostituisce generalmente l'indoratura e l'inargentatura galvanica. L'indoratura per mezzo della pila differisce dalla galvanoplastica soltanto perchè lo strato metallico che si fa depositare su gli oggetti che si vogliono indorare è molto più sottile e più aderente. Sembra che Brugnatelli, allievo di Volta, sia stato il primo, nel 1803, ad osservare che potevasi indorare con una pila ed una soluzione alcalina d'oro; ma fu De la Rive che pel primo applicò realmente la pila all'indoratura. I processi di indoratura ed inargentatura furono in seguito perfezionati da Elkington, Ruolz ed altri fisici.

I pezzi che si vogliono indorare devono subire tre preparazioni, che sono: il *ricuocimento,* il *ripulimento* e la *detersione.*

Il ricuocimento consiste nello scaldare i pezzi per toglierne le sostanze grasse che loro possono esser rimaste aderenti in causa dei lavori cui furono sottoposti precedentemente.

Siccome i pezzi che si vogliono indorare sono ordinariamente di rame, la loro superficie, durante il ricuocimento, si copre di uno strato di pro-

tossido e di biossido di rame che si toglie colla detersione. Per ciò si immergono i pezzi ancor caldi in un bagno di acido azotico assai diluito, e in questo si lasciano assai lungo tempo, onde l'ossido si distacchi. Si strofinano allora con una spazzola dura, si lavano nell'acqua distillata, e si fanno seccare nella segatura di legno leggermente riscaldata.

I pezzi però sono ancora iridati; per levare tutte le macchie rimane il ripulimento, operazione che consiste nell'immergere rapidamente i pezzi in un bagno d'acido nitrico ordinario, poi in un miscuglio dello stesso acido, di salmarino e fuliggine, e finalmente lavarli nell'acqua pura.

Preparati i pezzi, si sospendono all'elettrodo negativo di una pila formata di tre o quattro coppie di Daniell o di Bunsen, e si immergono in un bagno d'oro, disponendoli come per la galvanoplastica (fig. 556): in questo bagno si lasciano più o meno a lungo, secondo la grossezza che si vuol dare al deposito.

La composizione dei bagni venne variata d'assai. Quello più usitato si compone di un grammo di cloruro d'oro e di 10 grammi di cianuro di potassio sciolti in 200 grammi d'acqua. Per mantenere il bagno ad un grado di concentrazione costante, si sospende all'elettrodo positivo una lamina d'oro il quale si discioglie a misura che il bagno lascia deporre il suo oro sui pezzi in comunicazione col polo negativo.

Il processo or ora descritto si applica benissimo per indorare non solo il rame, ma anche l'argento, il bronzo, l'ottone, il pacfong. Gli altri metalli, come il ferro, l'acciaio, lo zinco, lo stagno, il piombo si indorano male, qualora non vengano rivestiti dapprima con uno strato di rame, per mezzo della pila e di un bagno di solfato di rame; indi si indora il rame che li ricopre.

706. **Inargentatura.** — Quanto si è detto sulla indoratura galvanica si applica esattamente alla inargentatura; non avvi differenza che nella composizione del bagno, il quale è formato di due grammi di cianuro d'argento e di 10 grammi di cianuro di potassio sciolto in 250 grammi d'acqua. All'elettrodo positivo si sospende una piastra d'argento che serve a mantenere la soluzione ad un grado di concentrazione costante, ed all'elettrodo negativo si sospendono i pezzi che si vogliono inargentare dopo averli detersi.

CAPITOLO III.

ELETTRO-MAGNETISMO, GALVANOMETRIA

707. **Esperienza di Œrsted.** — Œrsted, professore di fisica a Copenaghen, fece conoscere, nel 1819, una scoperta che collegava intimamente il magnetismo e l'elettricità, e che, per opera di Ampère e di Faraday, diventò ben presto sorgente di un nuovo ramo di fisica. Il fatto scoperto da Œrsted è l'azione direttrice che una corrente fissa esercita a distanza sopra un ago magnetizzato mobile. Poco dopo si riconobbe che reciprocamente una calamita fissa esercita un'azione direttrice sopra una corrente mobile, e si diede il nome di *elettro-magnetismo* alla parte della fisica che tratta delle azioni mutue che si esercitano fra le calamite e le correnti.

Per fare l'esperienza di Œrsted si tende orizzontalmente, nella direzione del meridiano magnetico, un filo di rame al disopra di un ago magnetizzato mobile, come rappresenta la figura 557. Finchè il filo non è attraversato da una corrente, l'ago gli rimane parallelo; ma appena che le estremità del filo sono poste in comunicazione cogli elettrodi di una pila, *l'ago è deviato e s'accosta tanto più a prendere una direzione perpendicolare alla corrente, quanto più questa è intensa.*

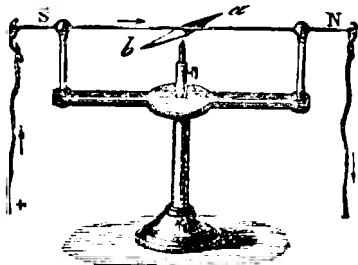



Fig. 557 (a. = 21).

Riguardo alla direzione secondo la quale sono deviati i poli, si presentano parecchi casi, che dipendono però da un principio unico. Richiamiamo dapprima la convenzione già stabilita (668), per la quale si immagina sempre che la corrente, nel filo congiuntore, sia diretta dal polo positivo al negativo. Ciò posto, l'esperienza precedente presenta i quattro casi seguenti:

1.° Se la corrente passa al disotto dell'ago e va da sud a nord, il polo australe è deviato verso l'ovest; questa è la disposizione rappresentata nella figura 557; 2.° se la corrente passa al disopra dell'ago, sempre da sud a nord, il polo australe è deviato all'est; 3.° quando la corrente passa al disopra dell'ago nella direzione da nord a sud, il polo australe si dirige verso l'est; 4.° finalmente, lo stesso polo è deviato verso l'ovest quando la corrente si dirige ancora da nord a sud, al di sotto dell'ago.

Se si immagina, come fece Ampère, un osservatore collocato nel filo congiuntore, in modo che la corrente entrando pe' suoi piedi sorta pel capo, e che la sua faccia sia costantemente rivolta verso l'ago, si riconosce facilmente che nelle quattro posizioni testè considerate, il polo australe è deviato verso la sinistra dell'osservatore. Personificando così la corrente, si ponno riassumere i diversi casi poc'anzi considerati nell'enunciato di questo principio generale: *Nell'azione direttrice delle correnti sulle calamite, il polo australe è sempre deviato verso la sinistra della corrente.*

708. **Galvanometro o moltiplicatore.** — Chiamasi *galvanometro, moltiplicatore* o *reometro*, un apparato assai sensibile che serve a constatare l'esistenza, la direzione e l'intensità delle correnti. Questo apparato fu immaginato da Schweigger, in Germania, poco tempo dopo la scoperta di Œrsted.

Per comprenderne il principio, consideriamo un ago magnetizzato sospeso ad un filo di seta non torto (fig. 558) e cinto nel piano del meridiano magnetico da un filo di rame formante un circuito completo attorno all'ago, nel senso della sua lunghezza. Quando questo filo è attraversato da una corrente, dalla convenzione stabilita nel paragrafo precedente risulta, che un osservatore, il quale fosse steso sul filo secondo la direzione delle frecce e fosse rivolto verso l'ago *ab*, avrebbe in tutte le parti del circuito la sua sinistra rivolta verso lo stesso punto dell'orizzonte, e che, per conseguenza, l'azione della corrente tende dappertutto a deviare l'ago nello stesso verso. Quindi, le azioni dei quattro

rami di circuito concorrono per far deviare il polo australe in una sola direzione; epperò avvolgendo il filo di rame nella direzione della corrente, come mostra la figura, si è dunque *moltiplicata* l'azione della corrente. Se, invece di un solo circuito, se ne formano parecchi, l'azione si moltiplica sempre più e la deviazione dell'ago aumenta. Tuttavia, non

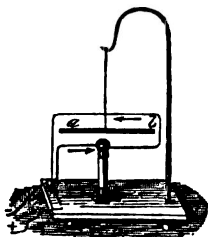
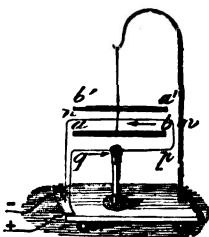



Fig. 558. Fig. 559.

si moltiplicherebbe indefinitamente l'azione della corrente col continuare le circonvoluzioni del filo, perchè vedremo quanto prima che l'intensità di una corrente si indebolisce quando cresce la lunghezza del circuito da essa percorso.

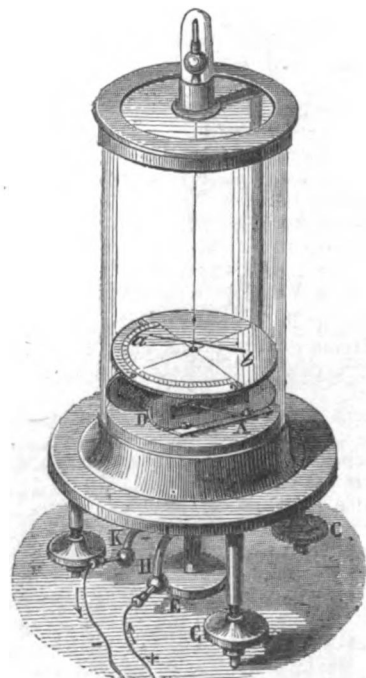
Siccome l'azione direttrice della terra tende continuamente a mantenere l'ago nel meridiano magnetico e si oppone per tal modo all'azione della corrente, Nobili rese molto più sensibile l'effetto di quest'ultima, facendo uso di un sistema astatico di due aghi, come mostra la figura 559. Allora l'azione della terra sugli aghi è debolissima (601), ed inoltre le azioni della corrente sui due aghi si sommano. Infatti, l'azione del circuito completo tende, quando la corrente è diretta, come indicano le frecce, a deviare verso l'ovest il polo australe dell'ago inferiore *ab*. L'ago superiore *a'b'* è soggetto all'azione delle due correnti contrarie *mn* e *pq;* ma prevale l'azione della prima perchè situata più vicino all'ago. Ora, questa corrente, passando al disotto dell'ago dal polo australe al polo boreale, tende evidentemente a deviare il polo *a'* verso l'est, e quindi il polo *b'* verso l'ovest, cioè nello stesso senso del polo *a* dell'altro ago.

Posti questi principii, è facile il comprendere la teoria del *moltiplicatore*. Questo apparato, rappresentato dalla figura 560, è composto di un telaio D, di rame, attorno al quale si avvolge un filo dello stesso metallo, coperto di seta in tutta la sua lunghezza onde isolare i circuiti l'uno dall'altro. Al disopra di questo telaio avvi un cerchio orizzontale graduato, il cui zero corrisponde al diametro parallelo alla direzione del filo di rame nel telaio; questo cerchio porta due graduazioni, l'una alla destra, l'altra alla sinistra dello zero, le quali vanno solo fino a 90 gradi. Per mezzo di un sostegno e di un filo di seta non torto ed assai sottile, è sospeso un sistema astatico (601) formato di due aghi da cucire *ab* ed A, collocati il primo al di sopra del cerchio, e l'altro nel circuito stesso. Questi aghi, che sono uniti tra loro per mezzo di un filo di rame come quelli della figura 463 (pag. 493), e non ponno essere deviati l'uno senza l'altro, non devono avere identicamente la

stessa intensità magnetica, altrimenti ogni corrente, forte o debole, li disporrebbe sempre in direzione ad essa perpendicolare.

Le aste ricurve K ed H che comunicano al disotto dell'apparato colle due estremità del circuito, sono destinate a ricevere i conduttori i quali trasmettono la corrente che si vuol osservare. Le viti da livello C servono a disporre l'apparato in posizione esattamente verticale, in modo che il filo di sospensione corrisponda precisamente al centro del cerchio graduato. Finalmente, un bottone E trasmette il movimento al telaio D ed al cerchio, che sono mobili attorno ad un asse verticale, in modo che si possono disporre i fili del circuito nella direzione degli aghi e, quindi, del meridiano magnetico, senza spostare l'apparato.

Fig. 560 (a. = 29).

Quando il galvanometro è destinato ad osservare delle correnti dovute alle azioni chimiche, il filo che si avvolge attorno agli aghi dev'essere di piccolissimo diametro, e fare un gran numero di giri, almeno da 600 ad 800. Il numero dei giri si eleva anche sovente a 2 000 o 3 000, e, per esperienze assai delicate, è stato portato fino a 30 000; per le correnti termo-elettriche, che verranno descritte più innanzi, e la cui tensione è debolissima, il filo deve essere più grosso e fare un numero di giri molto minore, cioè soltanto 200 a 300. Infine, quando trattasi di correnti intense, si adoperano galvanometri ad un solo ago, ed in cui il filo fa un numero piccolissimo di giri, od anche un solo. Il galvanometro più semplice è allora una bussola al di sopra della quale passa un filo di rame diretto secondo il meridiano magnetico, e nel quale passa la corrente di cui si vuol conoscere l'intensità.

Il galvanometro or ora descritto, non dà indizio di corrente quando si fa passare nel filo l'elettricità di una macchina elettrica, ponendo in comunicazione l'uno dei capi del filo stesso coi conduttori e l'altro col suolo. Allora non si rende sensibile la corrente che passa nell'apparecchio se non facendo uso di un filo sottilissimo, avvolto fino a due o tre mila volte sopra sè stesso, ed isolando completamente i circuiti gli uni dagli altri per mezzo di seta e di vernice di gomma-lacca. Sotto queste condizioni, gli aghi sono deviati dalla elettricità statica della macchina elettrica, il che dimostra l'identità della elettricità statica colla elettricità dinamica.

709. **Graduazione del galvanometro.** — Il galvanometro, quale ora l'abbiamo descritto, è un apparato sensibilissimo che serve a constatare

la presenza delle correnti, ma non ne fa conoscere la loro intensità. Per farlo servire a questo uso, bisogna costruire delle tavole per mezzo delle quali si possa dedurre l'intensità della corrente dalla deviazione dell'ago.

Il metodo più semplice per formare queste tavole è quello del *moltiplicatore a due fili*. Si avvolgono simultaneamente sul telaio dell'apparato due fili di rame coperti egualmente di seta ed identici in lunghezza ed in diametro; poi, scegliendo una sorgente costante di elettricità dinamica ma assai debole, si fa passare la corrente in uno dei fili, il che dà una certa deviazione, per es. di 5 gradi. In seguito, per mezzo di una sorgente elettrica identica alla prima, si fa passare contemporaneamente in ciascun filo una corrente di uguale intensità; allora si ottiene una deviazione, per es. di 10 gradi, la quale è dovuta all'azione simultanea delle due correnti, o, ciò che è lo stesso, ad una corrente di intensità doppia della prima. Se in seguito si fa passare in uno dei fili una corrente capace di produrre da sola la deviazione 10, e nell'altro una delle correnti che produssero la deviazione 5, il che evidentemente corrisponde ad una corrente tripla della prima, si ottiene la deviazione 15. Finalmente, facendo passare in ciascuno dei fili simultaneamente una corrente capace di dare la deviazione 10, se ne osserva una di 20 gradi. Vale a dire che *sino a 20 gradi le deviazioni crescono proporzionalmente all'intensità della corrente.* Oltre questo limite esse crescono in un rapporto minore; ma, col medesimo processo, si continua a determinare, di distanza in distanza, le deviazioni corrispondenti ad intensità conosciute, poi si compie la tavola col metodo delle interpolazioni. Ciascun galvanometro richiede una tavola speciale, perchè la relazione fra l'intensità della corrente e la deviazione dell'ago varia col grado di magnetizzazione di quest'ultimo, colla sua lunghezza, colla sua distanza dalla corrente ed infine colla lunghezza del circuito.

Siccome abbiamo testè veduto che fino a 20° le deviazioni sono sensibilmente proporzionali alle intensità, si può, nel caso di un galvanometro ad un solo filo, basarsi su tale proprietà per misurare fino a questo grado le intensità per mezzo delle deviazioni. Oltre questo limite bisognerebbe costruire una tavola, basandosi sulle deviazioni prodotte dalle correnti la cui intensità fosse conosciuta e calcolando in seguito, per interpolazione, le intensità corrispondenti alle deviazioni intermedie.

Il moltiplicatore a due fili può servire anche a misurare la differenza di intensità di due correnti; ciò che si ottiene facendo passare simultaneamente, in direzioni contrarie, una corrente in ciascun filo. L'apparato prende allora il nome di *galvanometro differenziale.*

710. **Usi del galvanometro.** — Il galvanometro, per la sua estrema sensibilità, è uno degli strumenti più preziosi della fisica. Esso serve non solo a constatare la presenza delle correnti le più deboli, ma a farne conoscere anche la loro direzione ed intensità. Con questo apparato Becquerel potè constatare che avvi svolgimento di elettricità in tutte le combinazioni chimiche, e determinare le leggi che presiedono a queste combinazioni (675).

Se, per es., si fissano alle estremità del circuito del galvanometro due fili di platino, e si immergono in una capsula piena d'acido azotico, non si osserva alcuna deviazione dell'ago, il che si poteva facilmente prevedere, giacchè il platino non è intaccato dall'acido azotico. Ma se si versa una goccia d'acido cloridrico vicino ad uno dei fili immersi, tosto l'ago del galvanometro è deviato, il che indica essere il

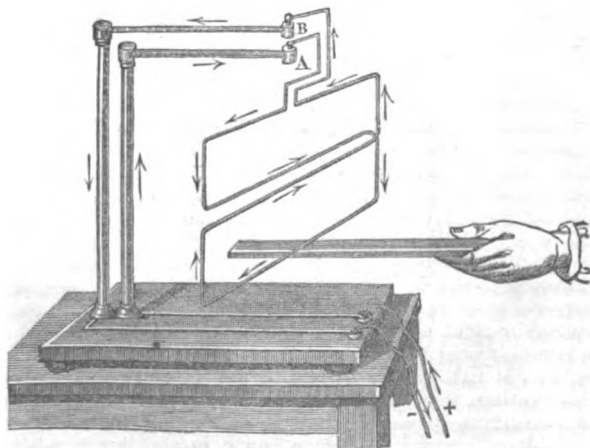
circuito attraversato da una corrente. Infatti, si sa che, per la loro mutua reazione, gli acidi azotico e cloridrico producono dell'acido-cloro-azotico o *acqua regia*, la quale intacca il platino. Si riconosce inoltre, dal verso della deviazione, che il platino è elettrizzato negativamente e l'acido positivamente.

711. **Leggi delle azioni delle correnti sulle calamite.** — Le azioni che le correnti esercitano sulle calamite sono di due sorta, l'una direttrice, l'altra attrattiva o ripulsiva. Si sa (707) che l'azione direttrice di una corrente sopra una calamita consiste in ciò, che *la corrente tende sempre a disporre l'ago perpendicolarmente a sè stessa, col polo australe alla sinistra di un osservatore il quale fosse steso sulla corrente colla faccia rivolta verso l'ago, ed in modo che la corrente entrasse pe' suoi piedi e uscisse per la testa.*

L'intensità dell'azione direttrice delle correnti sull'ago magnetizzato varia colla distanza. Dietro il numero di oscillazioni che fa l'ago a distanze disuguali, sotto l'influenza di una corrente rettilinea, Biot e Savart hanno trovato che l'*intensità della risultante delle azioni direttrici di tutte le parti di una corrente sull'ago è in ragione inversa della semplice distanza.*

L'azione attrattiva o ripulsiva delle correnti sulle calamite si verifica sospendendo verticalmente per una delle sue estremità un ago da cucire magnetizzato ad un sottilissimo filo di seta e facendo indi passare una corrente orizzontale vicinissimo all'ago. Allora, secondo la direzione della corrente, si osservano delle attrazioni o delle ripulsioni, le quali si spiegano colla azione delle correnti sui solenoidi, quando si paragonino le calamite a solenoidi, come fece Ampère in una teoria che faremo conoscere in seguito (727).

712. **Azione direttrice delle calamite sulle correnti.** — L'azione direttrice tra le correnti e le calamite è reciproca. Nell'esperienza di

Fig 561 (a. = 45).

Œrsted (fig. 557), l'ago magnetizzato essendo mobile, mentre la corrente è fissa, si dirige e si dispone perpendicolarmente alla corrente. Se all'incontro la calamita è fissa e la corrente è mobile, quest'ultima si dirige e si dispone perpendicolarmente alla calamita sempre col polo australe rivolto alla sinistra. Per dimostrare questo principio, si dispone l'esperienza come mostra la figura 561. Il circuito che percorre la corrente è mobile, e si accosta una potente spranga magnetizzata al disotto del suo ramo inferiore: tosto il circuito incomincia a girare e, dopo alcune oscillazioni, si arresta in un piano perpendicolare alla calamita, in modo che il polo australe di quest'ultima si trovi alla sinistra della corrente nella parte inferiore del circuito.

Si vedrà presto, trattandosi delle correnti d'Ampère (727), come spiegasi l'azione reciproca tra le calamite e le correnti.

CAPITOLO IV.

ELETTRO-DINAMICA, ATTRAZIONE E RIPULSIONE DELLE CORRENTI PER MEZZO DELLE CORRENTI

713. **Azioni mutue delle correnti elettriche.** — Quando due fili metallici vicini sono attraversati simultaneamente da una corrente elettrica, si producono tra questi fili, secondo la direzione relativa delle due correnti, alcune attrazioni o ripulsioni analoghe a quelle che si esercitano fra i poli di due calamite. Questi fenomeni, la cui scoperta è dovuta ad Ampère, poco tempo dopo quella di Œrsted (707), costituiscono un ramo dell'elettricità dinamica che si indica col nome di *elettro-dinamica*. Le leggi che li reggono presentano diversi casi, secondo che le correnti sono parallele od angolari, rettilinee o sinuose.

714. **Leggi delle correnti parallele.** — 1.ª *Due correnti parallele e dirette nello stesso senso si attraggono.*

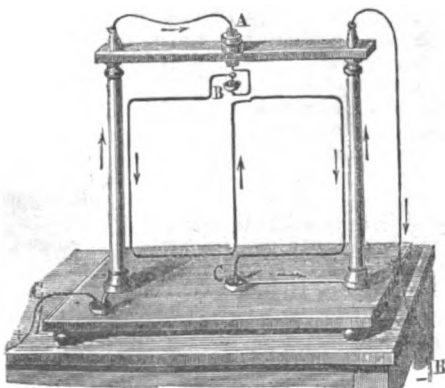



Fig. 562 (a. = 31).

2.ª *Due correnti parallele e dirette in sensi contrari si respingono.*

Per dimostrare queste leggi, si divide il circuito percorso dalla corrente in due parti, l'una fissa e l'altra mobile, come mostra la fig. 562. La parte fissa si compone di due colonne di ottone collocate verticalmente sopra una tavoletta di legno. Quando l'elettrodo positivo di una pila composta di quattro o cinque coppie di Bunsen comunica col piede della colonna che trovasi alla sinistra nella figura, la corrente sale in questa colonna, passa in un filo A, ed indi in una capsula B che contiene del mercurio. Dopo questa capsula incomincia la parte mobile del circuito, la quale si compone di un filo di rame, una estremità della quale, per mezzo di un perno, si appoggia sulla capsula B, e l'altra si immerge in una seconda capsula C, da cui la corrente ascende nella colonna a destra, la quale alla sua sommità comunica coll'elettrodo negativo della pila.

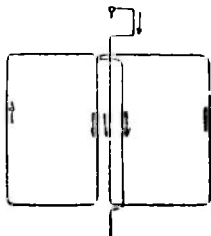



Fig. 563.

Dalla disposizione delle frecce si vede che la corrente va in direzione contraria nelle colonne e nel circuito mobile. Ora, quest'ultimo che deve prima del passaggio della corrente venir disposto nel piano degli assi delle colonne, tosto che la corrente passa, se ne allontana girando sul suo perno B; il che dimostra la seconda legge.

Per dimostrare la prima, si toglie il circuito mobile della figura 562, e vi si sostituisce quello rappresentato dalla figura 563. Siccome allora la corrente è diretta nello stesso senso, tanto nelle colonne che nella parte mobile, si riconosce che vi è attrazione, poichè il circuito mobile ritorna sempre nel piano degli assi delle due colonne tosto che ne venga allontanato.

715. **Leggi delle correnti angolari.** — 1.ª *Due correnti rettilinee, le cui direzioni facciano fra loro un angolo, si attraggono quando si avvicinano ambedue al vertice, o se ne allontanano.*

2.ª *Se l'una delle correnti va verso il vertice e l'altra se ne allontana, esse si respingono.*

Per dimostrare queste due leggi si adopera generalmente un apparecchio che noi abbiamo presentato nelle nostre precedenti edizioni e che è dovuto a Pouillet. Ma questo apparecchio agisce assai difficilmente, e ad esso devesi preferire quello rappresentato dalla figura 565. Quest'ultimo, che non è che una modificazione d'un apparecchio già adottato da Ampère per dimostrare le leggi delle correnti angolari, e che è descritto nel *Trattato di elettricità* di De la Rive, è estremamente sensibile.

Come si vede, esso non è altro che l'apparato già rappresentato dalla figura 561; colla differenza soltanto che sulla tavoletta trovasi collocato un piccolo telaio di legno *mn*, sul quale si avvolge parecchie volte un grosso filo in cui passa la corrente, in modo che viene moltiplicata la di lei azione sul circuito mobile PQ, il quale è astatico (731). Ciò posto, la corrente entrando pel piede della colonna A, giunge al circuito PQ, e lo percorre nel senso indicato dalle frecce; indi discende nella colonna B, si porta nel moltiplicatore e sorte in C. Ora, se si dispone il circuito mobile in modo che il suo piano formi un angolo col moltiplicatore, tosto che passa la corrente, la quale nei due fili si allontana dal vertice dell'angolo, come mostra la figura, si scorge che

l'angolo POm, diminuisce, d'onde si deduce che, giusta la prima legge, avvi attrazione fra le due correnti. Al contrario, se al circuito PQ si sostituisce il circuito MN (fig. 564), siccome allora le due correnti sono dirette in senso contrario rispetto al vertice dell'angolo POm, si vede che quest'ultimo aumenta; avvi adunque ripulsione, epperò resta dimostrata la seconda legge.

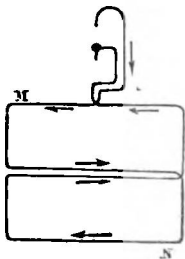
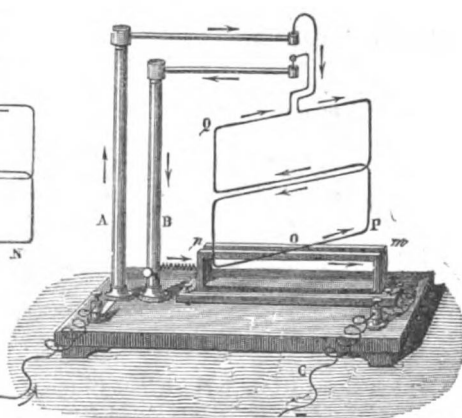
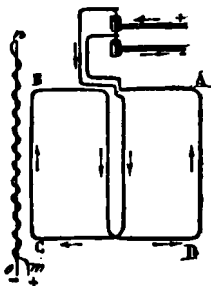



Fig. 564. Fig. 565

Dalla seconda delle precedenti leggi, Ampère conchiuse che una corrente angolare tende a raddrizzarsi, e che *in una corrente rettilinea ogni elemento della corrente respinge l'elemento seguente e ne è respinto.* Ordinariamente si tenta di dimostrare questo principio facendo vedere che quando la corrente passa da un bagno di mercurio in un piccolo filo di rame, che galleggia sulla superficie del liquido, questo filo è respinto; ma la resistenza che risulta dal cangiamento di conduttore può bastare a produrre il fenomeno.

716. Legge delle correnti sinuose. — *L'azione di una corrente sinuosa equivale a quella di una corrente rettilinea di ugual lunghezza in proiezione.* Questo principio si dimostra disponendo una corrente *mno* (fig. 566), metà sinuosa e metà rettilinea vicino ad una corrente mobile ABCD. Allora non si osserva attrazione nè ripulsione, d'onde si deduce che l'azione della porzione sinuosa *mn* fa equilibrio a quella della porzione rettilinea *no*.

Fig. 566.

Questo principio sulle correnti sinuose verrà ben presto applicato a piccoli apparati che si chiamano *solenoidi*, i quali sono formati dalla combinazione di una corrente rettilinea con una corrente sinuosa (722).

DIREZIONE DELLE CORRENTI PER MEZZO DELLE CORRENTI

717. **Azione di una corrente indefinita sopra una corrente perpendicolare alla sua direzione.** — Dietro l'azione che si esercita fra due correnti angolari (715), si può facilmente determinare quella che esercita una corrente rettilinea PQ (fig. 567), fissa ed indefinita, sopra una corrente mobile KH perpendicolare alla sua direzione. Perciò si rappresenti con OK la perpendicolare comune a KH ed a PQ, la quale è

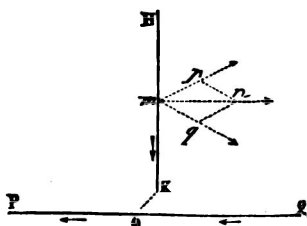
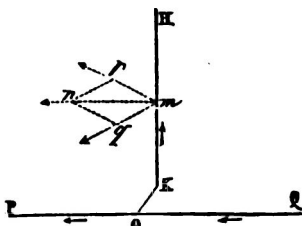



Fig. 567. Fig. 568.

nulla se le due linee PQ e KH si incontrano. La corrente PQ essendo diretta da Q verso P, come indicano le frecce, consideriamo dapprima il caso in cui la corrente KH si avvicini alla corrente PQ. Giusta la prima legge delle correnti angolari, la porzione QO della corrente PQ attrae la corrente KH; giacchè queste correnti sono dirette ambedue verso il vertice dell'angolo formato dalle loro direzioni. Quanto alla parte PO della corrente PQ, essa al contrario respinge la corrente KH, perchè qui le due correnti sono in senso contrario relativamente al vertice dell'angolo formato dalle loro direzioni. Adunque, rappresentando con mq ed mp le due forze, l'una attrattiva e l'altra ripulsiva, che sollecitano la corrente KH, forze che sono necessariamente di uguale intensità, perchè ai due lati del punto O, tutto è simmetrico, si sa (29) che queste due forze si compongono in una forza unica mn, la quale tende a trascinare la corrente KH parallelamente alla corrente PQ, in senso opposto a quest'ultima.

Se si considera il caso in cui la corrente KH si allontana dalla corrente PQ (fig. 568), si scorge facilmente che dessa è ancora trascinata parallelamente a questa corrente, ma nello stesso verso.

Si può adunque stabilire questo principio generale: *Una corrente finita mobile che si avvicina ad una corrente fissa indefinita è sollecitata a muoversi in una direzione parallela ed opposta a quella della corrente fissa; se la corrente mobile si allontana dalla corrente fissa, è ancora sollecitata a muoversi parallelamente a questa corrente, ma nel medesimo verso.*

Da ciò segue che se una corrente verticale e mobile attorno ad un asse XY parallelo alla sua direzione (fig. 569 e 570), ogni corrente orizzontale PQ ha per effetto di farla girare attorno al suo asse, *fino a che il piano dell'asse e della corrente sia divenuto parallelo a* PQ, e

che la corrente verticale si ferma quando è situata, rispetto al suo asse, *da quella parte donde viene la corrente* PQ (fig. 569), ovvero *dalla parte verso la quale essa si dirige* (fig. 570), *secondo che la corrente verticale è discendente od ascendente*, cioè secondo che si allontana dalla corrente orizzontale o le si avvicina.

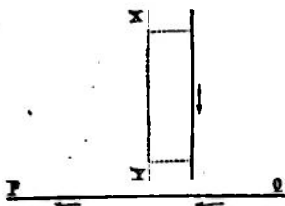
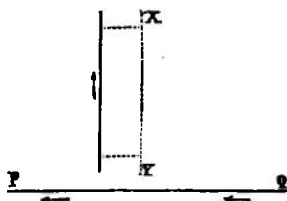



Fig. 569. Fig. 570.

Dallo stesso principio si deduce inoltre che un sistema di due correnti verticali le quali possono girare insieme attorno ad un asse verticale (fig. 571 e 572), viene diretto da una corrente orizzontale PQ

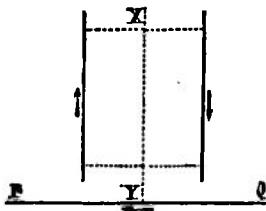
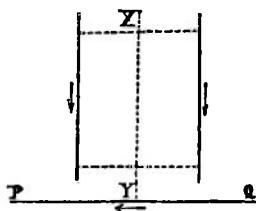



Fig. 571. Fig. 572.

in un piano parallelo a questa corrente se una delle correnti verticali è ascendente e l'altra discendente (fig. 571); e che se invece sono ambedue discendenti (fig. 572) od ambedue ascendenti, non vengono dirette dalla corrente orizzontale.

718. **Azione di una corrente rettilinea indefinita sopra una corrente rettangolare o circolare.** — È facile il riconoscere che una corrente rettilinea orizzontale indefinita esercita sopra una corrente rettangolare mobile attorno ad un asse verticale (fig. 573) la stessa azione direttrice suesposta. Infatti, giusta la direzione delle correnti segnate dalle frecce, la parte QY agisce per attrazione non solo sulla parte orizzontale YD (legge delle correnti angolari, 715), ma anche sulla parte verticalo AD (legge delle correnti perpendicolari, 717). La stessa azione si esercita evidentemente fra la parte PY e le parti CY e BC. Dunque *la corrente fissa* PQ *tende a dirigere la corrente rettangolare mobile* ABCD *in una posizione parallela a* PQ, *e tale che nei fili* CD *e* PQ *le correnti siano dirette nello stesso verso.*

Questo principio si può facilmente dimostrare coll'esperienza, collocando il circuito ABCD sull'apparato a due colonne della figura 565

e facendovi passare al disotto una corrente piuttosto intensa, la quale dapprima faccia con esso un angolo più o meno acuto. Però, sarà preferibile l'uso dello stesso circuito rappresentato dalla figura 565, il quale è astatico (731), mentre quello della figura 573 non è tale.

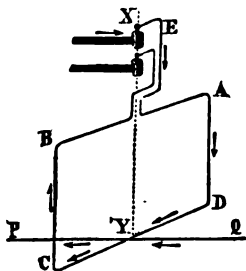
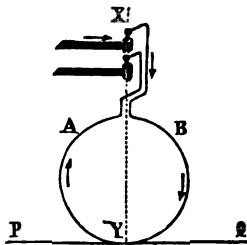



Fig. 573. Fig. 574.

Quanto si è detto intorno alla corrente rettangolare della figura 573 si applica esattamente alla corrente circolare della figura 574, e si verifica coll'esperienza nello stesso modo.

ROTAZIONE DELLE CORRENTI PER MEZZO DELLE CORRENTI

719. **Rotazione di una corrente orizzontale finita per mezzo di una corrente rettilinea orizzontale indefinita.** — Le attrazioni e ripulsioni ch'esercitano tra loro le correnti angolari, si ponno facilmente trasformare in moto circolare continuo. Per ciò, si immagini una corrente OA (fig. 575), mobile attorno ad un punto O, in un piano orizzontale, e

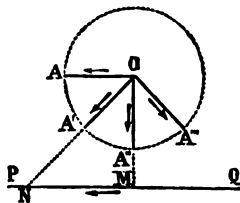
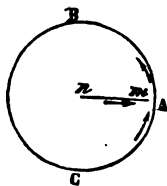



Fig. 575. Fig. 576.

sia PQ una corrente indefinita pure orizzontale. Se queste due correnti sono dirette nel senso delle frecce, ne segue che nella posizione OA, la corrente mobile è attratta dalla corrente PQ, perchè son dirette nello stesso verso. Giunta nella posizione OA′ la corrente mobile è attratta dalla parte NQ della corrente fissa e respinta dalla parte PN. Parimenti nella posizione OA″ è attratta da MQ e respinta da PM, e così di seguito; d'onde risulta un moto rotatorio continuo nel verso AA′A″A‴.... Se la corrente mobile invece di essere diretta da O verso A,

andasse da A verso O, è facile lo scorgere che la rotazione avverrebbe in senso contrario. Adunque, *per effetto della corrente fissa indefinita* PQ, *la corrente mobile* OA *tende a girare continuamente in una direzione contraria a quella della corrente fissa.*

Se essendo ambedue le correnti ancora orizzontali, la corrente fissa fosse circolare invece di essere rettilinea, facilmente si riconosce che il suo effetto sarà ancora quello di produrre un moto circolare continuo. Infatti, in un piano orizzontale, siano collocate due correnti, l'una ABC (fig. 576) fissa e circolare, l'altra *mn* rettilinea e mobile attorno al centro *n*. Se queste correnti sono dirette nel senso delle frecce, si attraggono entro l'angolo *n*AC, perchè vanno ambedue verso il vertice (715, 1.ª). Nell'angolo *n*AB, invece si respingono, perchè l'una si dirige verso il vertice, mentre l'altra si allontana. Adunque i due effetti concorrono per far girare continuamente il filo *mn* nel verso ACB.

720. **Rotazione di una corrente verticale per mezzo di una corrente circolare orizzontale.** — Anche una corrente circolare orizzontale che agisce sopra una corrente verticale rettilinea, le può imprimere un moto continuo di rotazione. Per dimostrarlo si fa uso dell'apparecchio rappresentato dalla figura 577. Esso è composto di un vaso di rame

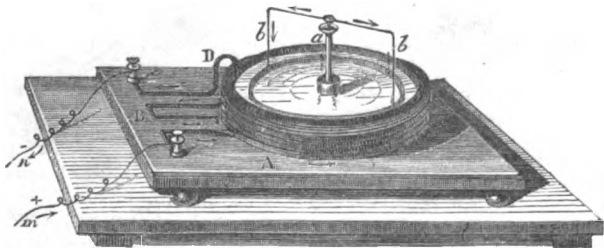



Fig. 577 (a. = 18).

attorno al quale si avvolge una lamina dello stesso metallo coperta di seta o di lana, e percorsa da una corrente fissa. Al centro del vaso trovasi una colonna di ottone *a*, terminata da una capsula che contiene del mercurio. In questa capsula si immerge un perno che sostiene un filo di rame *bb*, piegato alle sue estremità in modo da formare due rami verticali, i quali sono saldati ad un anello leggerissimo di rame immerso nell'acqua acidulata contenuta nel vaso. Ciò posto, allorchè la corrente di una pila giunge pel filo *m*, si porta nella lamina A, donde, dopo parecchi giri intorno al vaso, passa nella lamina B e di là, per di sotto al vaso, arriva alla parte inferiore della colonna *a*. Salendo allora per questa colonna, va nei fili *bb*, nell'anello di rame, nell'acqua acidulata e nelle pareti del vaso, dalle quali ritorna alla pila per la lamina D. Trovandosi così chiusa la corrente, il circuito *bb* e l'anello incominciano a girare in senso contrario della corrente fissa, e questo movimento è dovuto all'azione della corrente circolare sulla corrente dei rami verticali *bb*, come facilmente si desume dalle due leggi delle correnti angolari, giacchè il ramo *b* situato a destra, è attratto in avanti dalla parte A del circuito fisso, ed il ramo *b* situato a sinistra

è attratto in senso contrario dalla parte opposta. L'azione della corrente circolare sulla parte orizzontale del circuito *bb* concorre evidentemente a farlo girare nello stesso verso; ma la distanza può rendere trascurabile la sua azione.

721. **Rotazione delle calamite per mezzo delle correnti.** — Le correnti imprimono anche alle calamite gli stessi moti di rotazione che imprimono alle correnti, il che venne per la prima volta dimostrato da Faraday per mezzo dell'apparecchio rappresentato dalla figura 578, composto di una larga provetta di vetro quasi totalmente piena di mercurio. Al centro di questo liquido si immerge una calamita lunga circa 20 centimetri, la quale si eleva di alcuni millimetri sulla superficie del mercurio, ed alla parte inferiore è savorrata per mezzo di un

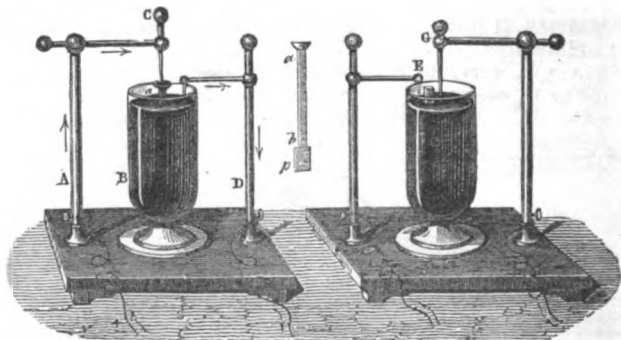



Fig. 578. Fig. 579.

cilindro di platino, come scorgesi in *ab* alla destra dell'apparecchio. Alla parte superiore della calamita è adattata una piccola capsula di rame che contiene del mercurio; in questa capsula giunge la corrente per mezzo di un'asta C. Ciò posto, appena che la corrente, salendo per la colonna A, passa nella calamita, indi nel mercurio, e sorte per la colonna D, si vede la calamita girare sopra sè stessa intorno al suo asse con una velocità che dipende dalla forza magnetica e dalla velocità della corrente.

Questo moto di rotazione si spiega per mezzo della teoria di Ampère che faremo conoscere quanto prima, giusta la quale le calamite sono percorse sul loro contorno da una quantità di correnti circolari dirette nello stesso verso, in piani perpendicolari all'asse della calamita (727). Ciò posto, al momento in cui nell'esperienza succitata la corrente passa dalla calamita nel mercurio, si divide alla superficie di quest'ultimo in un numero infinito di correnti rettilinee dirette dall'asse della calamita alla periferia della provetta. Ora, ciascuna di queste correnti agisce sulle correnti della calamita, nello stesso modo che nella figura 576, la corrente rettilinea *mn* agisce sulla corrente circolare CAB, cioè che siccome il cerchio CAB rappresenta una delle correnti della calamita, avvi attrazione entro l'angolo *n*AC e ripulsione nell'angolo *n*AB, e, per conseguenza, rotazione continua della calamita attorno al suo asse.

La corrente esercita la sua azione soltanto sull'estremità superiore della calamita, o se il polo australe è in alto, come nella nostra figura, la rotazione avviene dall'ovest all'est passando pel nord; il verso della rotazione cangia se si pone al basso il polo australe, e se si inverte la direzione della corrente.

Invece di far girare la calamita intorno al proprio asse, la si fa girare intorno ad una retta parallela a quest'asse, disponendo l'esperienza come mostra la figura 579. Infine, reciprocamente, *si fanno pur girare alcune correnti per influenza di una forte calamita.*

SOLENOIDI

722. **Composizione d'un solenoide.** — Chiamasi *solenoide* un sistema di correnti circolari eguali e parallele, formate da un filo di rame ricoperto di seta e ripiegato su sè stesso ad elice, come lo rappresenta la figura 580. Però, un selenoide è completo solo quando una parte BC del filo sia piegata secondo l'asse nell'interno dell'elice. Con questa disposizione allorchè il circuito è percorso da una corrente, risulta da ciò che si disse sulle correnti sinuose (716), che l'azione del solenoide, nel senso della lunghezza AB, è distrutta da quella della corrente rettilinea BC. Questa azione è dunque nulla nel senso della lunghezza, e per conseguenza *l'effetto d'un solenoide equivale rigorosamente in una direzione perpendicolare all'asse, a quella d'un seguito di correnti eguali e parallele.*

Fig. 580.

723. **Azioni delle correnti sopra i solenoidi.** — Quanto si disse sull'azione delle correnti rettilinee fisse sulle correnti finite, rettangolari o circolari (718), applicandosi evidentemente a ciascuno dei circuiti d'un solenoide, ne risulta che una corrente rettilinea deve tendere a dirigere questi circuiti parallelamente a sè stessa. Per constatare questo fatto coll'esperienza, si costruisce il solenoide, come lo mostra la figura 581, in modo di poterlo sospendere per mezzo dei due perni sopra le capsule A e B dell'apparecchio rappresentato nella figura 582. Il solenoide è allora mobilissimo attorno ad un asse verticale, e se vi si dirige al disotto, parallelamente al suo asse, una corrente rettilinea che passi nello stesso tempo nei fili del solenoide, lo si vede girare e disporsi perpendicolarmente alla corrente, cioè in una posizione tale che i suoi circuiti si trovino paralleli alla corrente fissa, e di più, nella parte inferiore di ciascun d'essi, la corrente è nel medesimo senso che nel filo rettilineo (718).

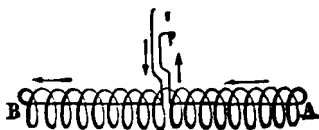



Fig. 581.

Se invece di far passare orizzontalmente una corrente rettilinea sotto al solenoide, la si fa passar verticalmente sopra un lato, si osserva una attrazione od una ripulsione, secondochè, nel filo verticale e nella parte del solenoide più vicina, le due correnti sono nel medesimo senso, od in senso contrario.

724. Azione direttrice della terra sui solenoidi. — Collocando sulle capsule A e B dell'apparecchio a due colonne della figura 582 il solenoide a sospensione rappresentato nella figura 582, se lo si dirige dapprima fuori del meridiano magnetico, si osserva che appena una corrente abbastanza energica passa nel solenoide, questo entra in movimento e si arresta in una direzione tale che il suo asse è parallelo alla direzione dell'ago di declinazione (596). Di più nella parte inferiore delle correnti circolari che compongono il solenoide, la corrente è diretta da est ad ovest. Si vedrà fra poco (728) come Ampère abbia spiegata l'azione direttrice della terra sui solenoidi.

In questa esperienza il solenoide dirigendosi come ago calamitato, chiamasi *polo australe*, come nelle calamite, la estremità che si dirige verso il nord, e *polo boreale* quello che si dirige verso il sud.

725. Azioni reciproche delle calamite e dei solenoidi. — Fra i solenoidi e le calamite si manifestano identicamente gli stessi fenomeni di attrazione e ripulsione reciproche come fra le calamite. Infatti, se si presenta ad un solenoide mobile ed attraversato da una corrente, l'uno

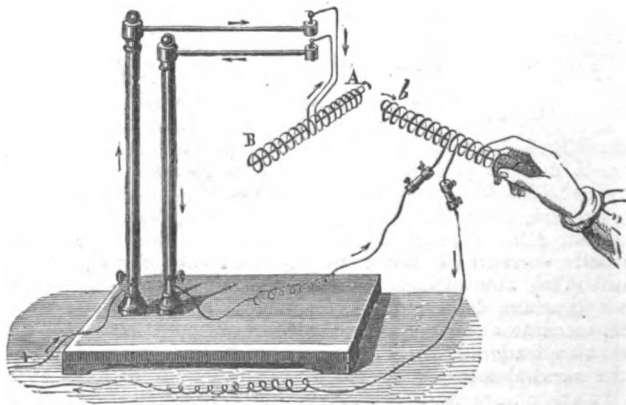



Fig. 582.

dei poli di una forte spranga calamitata, vi ha attrazione o ripulsione, secondo che i poli della calamita e del solenoide che si mettono in presenza sono di medesimo nome o di nomi contrarii.

Reciprocamente, lo stesso fenomeno ha luogo se si presenta ad un ago calamitato mobile un solenoide che si tiene in mano mentre è attraversato da una corrente. La legge delle attrazioni e delle ripulsioni delle calamite (585) si applica adunque esattamente alle azioni reciproche dei solenoidi e delle calamite.

726. Azioni reciproche dei solenoidi. — Allorchè si fanno agire l'uno sull'altro due solenoidi attraversati da una corrente assai forte, tenendone l'uno in mano e disponendo l'altro in modo che possa muoversi attorno ad un asse verticale passante pel suo centro di figura, come lo rappresenta la figura 582, si osservano, nelle estremità di questi due solenoidi, alcuni fenomeni d'attrazione e ripulsione identici a quelli che

presentano tra loro i poli delle calamite; questi fenomeni si spiegano per la direzione relativa delle correnti nelle estremità messe in presenza (714).

727. **Teoria d'Ampère sul magnetismo.** — Fondandosi sulla analogia che esiste tra i solenoidi e le calamite, Ampère ha data una teoria ingegnosa, per mezzo della quale i fenomeni magnetici entrano nel dominio dell'elettro-dinamica.

Invece d'attribuire i fenomeni magnetici all'esistenza di due fluidi (586), Ampère li attribuisce a correnti voltiane circolari che esisterebbero attorno alle molecole delle sostanze magnetiche.

Quando queste sostanze non sono calamitate, le correnti molecolari hanno luogo in tutte le direzioni, e la risultante della loro azione elettro-dinamica è nulla; ma tosto che per una causa qualunque queste correnti molecolari sono orientate tutte nello stesso senso, le loro azioni

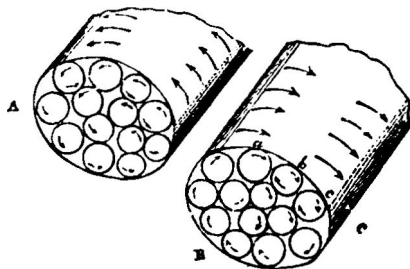



Fig. 583.

concordanti si sommano per dare una risultante che equivale ad una corrente unica, dirètta circolarmente alla superficie della calamita. Infatti, all'ispezione della figura 583, nella quale le correnti molecolari sono rappresentate da una serie di piccoli circoli interni nelle due estremità di una spranga cilindrica, si riconosce facilmente che nelle parti contigue le correnti sono di direzione opposte e non possono perciò esercitare alcuna azione elettro-dinamica sui corpi vicini. Ora, non è più così alla superficie; là, le correnti molecolari in *a*, in *b*, in *c*, non essendo neutralizzate da altre correnti, e i punti *a*, *b*, *c*,... essendo infinitamente vicini, ne risulta una serie di elementi dinamici dello stesso senso, situati in piani perpendicolari all'asse della calamita, e costituenti col loro insieme un vero solenoido.

Per riconoscere in qual senso sono dirette le correnti nelle calamite, consideriamo dapprima il solenoido a sospensione della figura 581. Supponiamolo percorso da una corrente, e in equilibrio nel meridiano magnetico, il polo australe *a* diretto verso il nord. Per effetto dell'azione direttrice, che fra poco vedremo (731), la terra esercita sulle correnti chiuse, la corrente nella parte inferiore di ciascuna spira del solenoido è diretta dall'est all'ovest, o, ciò che vale lo stesso, da sinistra a destra, per l'osservatore che, posto nell'asse del solenoido, guarda il polo australe. Se egli è rivolto verso il polo boreale, accade l'inverso: la corrente, nella parte inferiore di ciascuna spira, è allora diretta da diritta a sinistra.

Ora, dietro l'identità che esiste tra i solenoidi e le calamite, tutto ciò che precede applicandosi esattamente a queste ultime, si può dire, con Faraday, che *all'estremità sud di una calamita, vale a dire al polo boreale, le correnti d'Ampère sono dirette nel senso del movimento degli aghi di un orologio, e in senso contrario del polo australe, vale a dire dell'estremità vôlta verso il nord.*

728. **Corrente terrestre.** — Per completare la teoria delle calamite e spiegare il magnetismo terrestre, Ampère ammise inoltre l'esistenza di correnti elettriche circolanti incessantemente attorno al globo, dall'est all'ovest, perpendicolarmente, in ciascun luogo, al meridiano magnetico. Queste correnti, si sovrappongono e danno una corrente risultante unica, diretta dall'est all'ovest e percorrente l'equatore magnetico. Quanto alla loro natura sarebbero soprattutto correnti termo-elettriche (770) dovute alle variazioni di temperatura che risultano dalla presenza successiva del sole sulle diverse parti della superficie del globo, dall'oriente verso occidente.

Sono queste correnti che dirigono gli aghi delle bussole e i solenoidi, e che agiscono sulle correnti orizzontali e verticali, come si vedrà tosto (729, 730 e 731).

AZIONE DELLA TERRA SULLE CORRENTI

729. **Azione direttrice della terra sulle correnti verticali.** — La corrente terrestre che esercita un'azione direttrice sulle calamite e sui solenoidi (728), agisce anche sulle correnti, imprimendo loro ora una posizione in direzione determinata, ora un moto di rotazione continuo, secondo che queste correnti sono disposte in una direzione verticale od orizzontale.

La prima di queste due azioni, quella che ha per effetto di dirigere le correnti, può formularsi così: *Qualunque corrente verticale, mobile attorno ad un asse che sia ad essa parallelo, si dispone, sotto l'influenza dell'azione direttrice della terra, in un piano perpendicolare al meridiano magnetico, e si arresta, dopo alcune oscillazione, all'est del suo asse di rotazione, quand'è discendente, e all'ovest, quand'è ascendente.*

Questo fatto si constata colla esperienza, mediante un apparato formato da due vasi di rame *a* e K (fig. 584), di disuguale grandezza. Il maggiore *a* che ha circa 30 centimetri di diametro, è forato, nel suo centro, da un'apertura nel mezzo della quale si innalza una colonna di ottone *b*, isolata dal vaso *a*, ma comunicante col vaso K. Questa colonna termina con una piccola capsula nella quale poggia, su di un perno, un'asta leggera di legno. Ad una estremità di quest'asta si avvolge un filo sottile di platino *ce*, ciascuna estremità del quale si immerge nell'acqua acidulata che riempie i due vasi.

La corrente di una pila giungendo per il filo *m*, come lo mostra, nella figura, la direzione delle frecce, passa in una lamina di rame, che al disotto della tavoletta di legno che porta tutto l'apparecchio va a saldarsi al piede della colonna *b*. Innalzandosi allora in questa colonna, la corrente raggiunge il vaso K e l'acqua acidulata che contiene; di là ascende nel filo *c*, ridiscende per il filo *e*, e rendendosi alle pareti del vaso *a* attraverso all'acqua acidulata che contiene quest'ultimo, raggiunge il filo *n*, che la riconduce alla pila. La corrente trovandosi

così chiusa si vede il filo *e* muoversi attorno alla colonna *b* e arrestarsi all' est di questa colonna, quand' è discendente, come accade nel disegno; ma se è ascendente, ciò che si ottiene facendo giungere la corrente della pila per il filo *n*, il filo *e* si arresta all' ovest della colonna *b*, in una posizione diametralmente opposta a quella che essa prende quando è discendente.

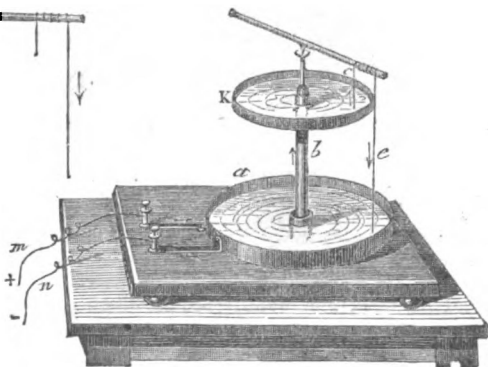



Fig. 585. Fig. 584 (a. = 30).

Se all' asta di legno ad un solo filo della figura 584, si sostituisca quella a due fili della figura 585, quest' asta non si dirige più, ciò che si concepisce facilmente, poichè, ciascun filo tendendo a disporsi all' est della colonna *b*, si producono due effetti eguali e di direzioni contrarie che si fanno equilibrio.

Nell' ipotesi della corrente terrestre, tutti i fenomeni che precedono si spiegano benissimo per l' azione di una corrente indefinita su una corrente perpendicolare alla sua direzione (717).

730. **Azione della terra sulle correnti orizzontali mobili attorno ad un asse verticale.** — L' azione della terra sulle correnti orizzontali non consiste più nel dirigerle, ma *nell' imprimere loro un movimento di rotazione continua dall' est all' ovest, passando per il nord, quando la corrente orizzontale si allontana dall' asse di rotazione, e dall' ovest all' est quando la corrente si dirige verso questo asse.*

Quest' azione sulle correnti orizzontali si dimostra mediante l' apparecchio rappresentato nella figura 586, il quale non differisce da quella della figura 584 che per ciò di avere un solo vaso. La corrente ascendente per la colonna *a* passa nei due fili *cc* e discende per i fili *bb*, da cui ritorna alla pila. Allora il circuito si mette a girare con un movimento continuo, dall' est all' ovest o dall' ovest all' est, secondo che nei fili *cc* la corrente si allontana dal centro, come ciò ha luogo nel disegno, o secondo che essa se ne avvicina, ciò che si ottiene facendo giungere la corrente della pila per il filo *m*, invece di farla giungere per il filo *n*.

Ora si è veduto (729) che l'azione della terra sui fili verticali *bb* è distrutta; è dunque proprio per la sua azione sui rami orizzontali *cc* che la rotazione si produce.

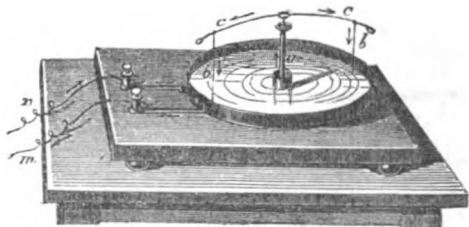
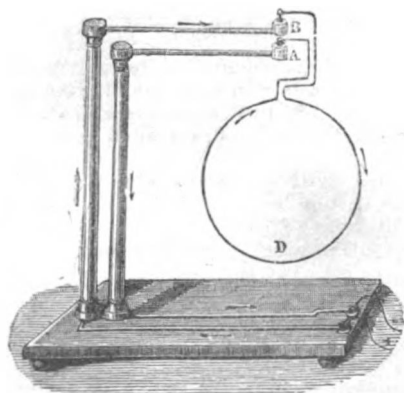



Fig. 586 (a. = 15).

Questa azione rotatoria della corrente terrestre sulle correnti orizzontali è la conseguenza della rotazione di una corrente orizzontale finita per una corrente orizzontale indefinita (719).

731. Azione direttrice della terra sulle correnti chiuse, mobili attorno ad un solo asse verticale. — Se la corrente sulla quale agisce la terra è chiusa, che essa sia rettangolare o circolare, non è più un movimento di rotazione continuo che si produce, ma un'azione direttrice, come nel caso delle correnti verticali (729), in virtù della quale *la corrente si dispone in un piano perpendicolare al meridiano magnetico, in modo che essa sia discendente all'est del suo asse di rotazione, per un osservatore che guardi il nord, e ascendente all'ovest.*

Fig. 587 (a. = 42).

Questa proprietà è una conseguenza di ciò che è stato detto sulle correnti orizzontali e sulle correnti verticali. Infatti, ne deriva che nel circuito chiuso BDA (fig. 587), la corrente, nelle parti superiore e inferiore, tende a girare in senso contrario, secondo la legge delle correnti orizzontali (730), e che per conseguenza v'ha equilibrio; mentre che, nelle parti laterali, la corrente tende a disporsi da un lato all'est, dall'altro all'ovest, secondo la legge delle correnti verticali (729).

A cagione dell'azione direttrice della terra sulle correnti, è necessario, nella maggior parte delle esperienze sulle correnti, di sottrarle a questa azione. Per ciò, si dà al circuito mobile una forma simmetrica dai due lati del suo asse di rotazione, in modo che le azioni direttrici

della terra sulle due parti del circuito tendono a farle girare in senso contrario, e per conseguenza si distruggono. Questa condizione è soddisfatta nei circuiti rappresentati nelle figure 564 e 565. Ragione per cui si dà alle correnti che li percorrono il nome di *correnti astatiche*.

CAPITOLO V.

MAGNETIZZAZIONE PER MEZZO DELLE CORRENTI, ELETTRO-CALAMITE, TELEGRAFI ELETTRICI

732. **Magnetizzazione per mezzo delle correnti.** — Dietro l'influenza che esercitano le correnti sulle calamite deviandone il polo australe a sinistra ed il polo boreale a destra (707), è facile l'immaginare che le correnti, agendo sulle sostanze magnetiche allo stato naturale, debbono tendere a separarne i due fluidi magnetici. Infatti, si osserva che avvolgendo un filo di rame percorso da una corrente nella limatura di ferro, quest'ultima vi si attacca in abbondanza, e ricade appena che la corrente cessa; mentre l'azione è nulla sulla limatura di qualunque altro metallo non magnetico.

L'azione delle correnti sulle sostanze magnetiche è sensibile principalmente quando si avvolge, come fece Ampère, un filo di rame coperto di seta attorno ad un tubo di vetro, e si colloca nell'interno di quest'ultimo una verga d'acciaio non magnetizzata. Si osserva che basta che una corrente attraversi il filo anche per un tempo brevissimo, perchè la verga sia fortemente magnetizzata. Se invece di far attraversare il filo dalla corrente della pila, vi si fa passare la scarica di una bottiglia di Leyda, mettendone in comunicazione uno dei capi coll'armatura esterna e l'altro coll'armatura interna, si trova che la spranga si magnetizza egualmente. Si può adunque magnetizzare tanto coll'elettricità voltiana quanto con quella delle macchine elettriche.

Fig. 588.

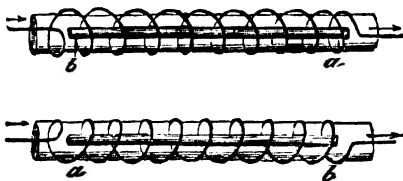



Fig. 589.

Nell'esperienza ora descritta il filo può essere avvolto da sinista a destra al disopra del cilindro, ed allora si ha un'*elice destrorsa* (fig. 588), oppure l'avvolgimento può aver luogo da sinistra a destra al disotto del cilindro, ed allora si ha un'*elice sinistrorsa* (fig. 589). Nella prima

elice il polo boreale della spranga trovasi sempre all'estremità per la quale entra la corrente; il contrario avviene nell'elice sinistrorsa.

La natura del tubo sul quale è avvolto l'elice non è senza influenza. Il legno ed il vetro sono senza effetto; ma un grosso cilindro di rame può distruggere completamente l'effetto della corrente. Lo stesso accade col ferro, coll'argento e collo stagno.

Del resto, per magnetizzare una spranga d'acciaio coll'elettricità, non è necessario di collocarla in un tubo, come mostrano le figure 588 e 589. Basta cingerla in tutta la sua lunghezza, con un filo di rame coperto di seta onde isolare gli uni dagl'altri i circuiti del filo. L'azione della corrente, quando la si fa passare nel filo, resta in tal modo moltiplicata, e basta una corrente poco intensa per ottenere una forte magnetizzazione.

Dalle numerose esperienze fatte da De Haldat, risulta che un cilindro di ferro dolce, cavo, per quanto sia sottile la sua parete, acquista, quando è collocato in un'elice percorsa da una corrente, sensibilmente la stessa intensità magnetica di un cilindro pieno, di eguali dimensioni. De Haldat ne conchiuse che nelle calamite il magnetismo risiede interamente alla superficie, e che la loro massa esercita quasi nessuna influenza sulla loro facoltà magnetica.

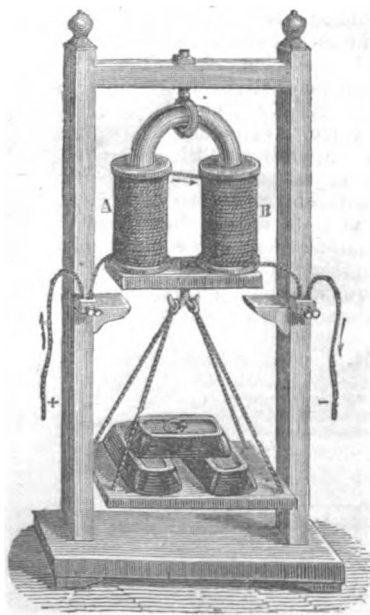



Fig. 590.

733. **Elettro-calamite.** — Chiamansi *elettro-calamite* le spranghe di ferro dolce che si magnetizzano sotto l'influenza di una corrrente voltiana, ma solo temporariamente, perchè siccome la forza coercitiva del ferro dolce è nulla (589), i due fluidi magnetici si neutralizzano tosto che la corrente cessa di passare nel filo. Però, se il ferro non è perfettamente puro, conserva alcune tracce di magnetizzazione più o meno sensibili. Generalmente le elettro-calamite si dispongono a ferro di cavallo, come mostra la fig. 590, e si avvolge, sui due rami, per un gran numero di volte un filo di rame coperto di seta, in modo da formare due rocchetti A e B. Il filo deve essere avvolto sui due rocchetti in senso contrario, affinchè le due estremità della spranga riescano due poli di nome contrario.

Si costruiscono anche delle elettro-calamita di tre pezzi: due rocchetti, l'uno destrorso, l'altro sinistrorso, ravvolti ciascuno attorno ad un cilindro di ferro dolce, e un'armatura dello stesso metallo, che unisce fra loro i due cilindri mediante forte viti. Sono elettro calamite di questa sorta quelle rappresentate nelle figure 594, 597, 598, 603 e 604. Queste elettro-calamite sono più facili a costruirsi di quelle di un solo pezzo, e sono egualmente potenti.

La potenza di una elettro-calamita dipende: 1.° dall'intensità della corrente; 2.° dal numero di giri dell'elice; 3.° dalle dimensioni e dalla qualità del ferro. Tuttavia i risultati ottenuti fin qui dai diversi sperimentatori sulla significazione reale da darsi a ciascuna di queste quantità non presentano sempre la concordanza desiderata.

Lentz e Jacobi hanno trovato che quando il ferro dolce non è troppo lungo rapporto al suo diametro, la *potenza di un elettro-calamita è proporzionale all'intensità della corrente*. Ma questa legge non può essere ammessa che per le correnti poco intense; giacchè quando la calamitazione del ferro è giunta allo stato di saturazione (602), v'ha un limite che non può sorpassarsi, qualunque sia l'intensità della corrente.

Gli stessi fisici hanno anche trovato che la *potenza di una elettro-calamita è proporzionale al numero dei giri dell'elice magnetizzante*. Ora, questa seconda legge, come la prima, non è che approssimata; giacchè a misura che le spire dell'elice si avvolgono le une sulle altre, esse si allontanano dal ferro e la loro azione magnetizzante diminuisce. Con un filo sottilissimo l'allontanamento è minore, ma il rocchetto presentando maggior resistenza alla corrente, l'intensità di questa diminuisce. L'esperienza ed il calcolo hanno fatto conoscere che, *per ottenere il massimo di effetto, la resistenza del rocchetto deve essere precisamente uguale alla somma totale delle resistenze esterne*. Si deve dunque combinare la lunghezza e il diametro del filo in modo che questa condizione sia soddisfatta. Se il circuito esterno presenta grande resistenza, come nelle linee telegrafiche, si farà uso di un filo sottilissimo e lunghissimo; sarà il rovescio se la resistenza esterna è debole.

Quanto all'influenza delle dimensioni del ferro dolce, risulta dai lavori di Lentz, Jacobi, Müller, Dub e Nicklès, che, poste uguali tutte le altre condizioni, la lunghezza dei rami di una elettro-calamita è senza influenza sul peso che essa può portare, quando la spranga è ricurvata a ferro di cavallo e i due rocchetti siano avvolti in senso contrario; ma se la spranga è rettilinea, non formando che un solo rocchetto, o se, essendo a ferro di cavallo, i suoi due rocchetti sono ravvolti nello stesso senso, il potere attrattivo aumenta colla lunghezza della spranga. Quanto alla grossezza del cilindro di ferro dolce, Dub ha trovato che la potenza di una elettro calamita, per far deviare l'ago calamitato, è proporzionale alla radice quadrata del diametro di questo cilindro, e che, se si tratta di portare dei pesi, che essa è proporzionale allo stesso diametro. Finalmente, per correnti intense, la potenza di un'elettro-calamita aumenta coll'allontanamento dei rocchetti. La qualità del ferro, anch'essa non è senza influenza; esso deve essere più dolce che sia possibile, qualità che non dipende solamente dal suo grado di purezza, ma anche dal modo con cui è preparato; giacchè esso deve essere ricotto più volte, avendo cura di raffreddarlo lentissimamente.

Vedremo quanto prima le importanti applicazioni delle elettro-calamite ai telegrafi elettrici, ai motori elettro-magnetici, agli orologi elettrici ed allo studio dei fenomeni diamagnetici.

734. **Moto vibratorio e suoni prodotti dalle correnti.** — Quando un'asta di ferro dolce si magnetizza per l'influenza di una forte corrente elettrica, rende un suono assai pronunciato, il quale varia secondo che l'asta è più o men lunga, ma si produce solo all'istante in cui si chiude o si interrompe la corrente. Questo fenomeno, osservato dapprima da Page,

in seguito da Delezenne, venne studiato principalmente da De la Rive, il quale lo attribuisce ad un moto vibratorio delle molecole del ferro per effetto di una rapida successione di magnetizzazioni e smagnetizzazioni.

Interrompendo e ristabilendo la corrente ad intervalli brevissimi, questo scienziato osservò che, qualunque sia la forma e la grandezza delle aste di ferro dolce, si distinguono sempre due suoni: uno, che è musicale, corrisponde a quello che darebbe la spranga vibrando trasversalmente; l'altro, che consiste in una serie di colpi secchi corrispondenti alle alternative della corrente, venne paragonato da De la Rive al rumore della pioggia cadente sopra un tetto di metallo. Il più distinto suono, dice De la Rive, è quello che si ottiene tendendo sopra una cassa armonica alcuni fili di ferro dolce del diametro di 1 a 2 millimetri, ben ricotti e lunghi da 1 a 2 metri. Collocati questi fili lungo l'asse di uno o più rocchetti attraversati da correnti energiche, producono un complesso di suoni il cui effetto è sorprendente ed assomiglia molto a quello di parecchie campane da chiesa che vibrano insieme in lontananza.

De la Rive ottenne pure gli stessi suoni facendo passare la corrente discontinua non già nei rocchetti che circondano i fili di ferro, ma entro i fili stessi. Il suono musicale allora riesce anche più forte e distinto, in generale, che nel primo esperimento.

L'ipotesi di un moto molecolare nei fili di ferro, al momento della loro magnetizzazione e smagnetizzazione, è confermata dalle ricerche di Wertheim, il quale trovò che allora i fili perdono in parte la loro elasticità, e da quelle di Joule, il quale constatò che il diametro dei fili diminuisce e cresce la loro lunghezza.

TELEGRAFI ELETTRICI

735. **Differenti sorta di telegrafi elettrici.** — I *telegrafi elettrici* sono apparati che servono a trasmettere certi segnali a grandi distanze, per mezzo di correnti voltiane condotte in lunghi fili metallici. Fin dal secolo passato parecchi fisici avevano proposto di corrispondere a distanza per mezzo degli effetti prodotti dall'elettricità delle macchine elettriche, quando essa si propaga nei fili conduttori isolati.

Nel 1811, Sœmmering immaginò un telegrafo fondato sull'uso, come mezzo indicatore, della decomposizione dell'acqua prodotta dalla pila. Nel 1820, epoca in cui non si conosceva ancora l'elettro calamita, Ampère, fondandosi sull'esperienza di Œrsted (707), propose di corrispondere per mezzo di aghi magnetizzati al disopra dei quali si dirigeva una corrente, adoperando tanti aghi e tanti fili quante sono le lettere. Nel 1837, Steinhel, a Monaco, e Wheatstone, a Londra, costruirono alcuni telegrafi a parecchi fili, ciascuno dei quali agiva sopra un ago magnetizzato; la sorgente elettrica era un apparato elettro-magnetico di Clarke, od una pila a corrente costante. Ma il telegrafo non poteva acquistare tutta la semplicità desiderabile, se non per mezzo dell'elettro-calamita. Questo sistema venne adottato da Wheatstone nel 1840.

Conservando sempre lo stesso principio, fu variata molto la forma dei telegrafi elettrici, però si ponno ridurre tutti ai quattro seguenti che ora successivamente descriveremo: il *telegrafo a quadrante*, il *telegrafo a segnali*, il *telegrafo scrivente* ed il *telegrafo elettro-chimico*.

736. Telegrafo a quadrante o a lettere. — Sonvi parecchie specie di telegrafi a quadrante. Quello rappresentato dalle figure 591 e 592 è

Fig. 592.

Fig. 591.

destinato alla dimostrazione, ma il suo principio è quello stesso dei telegrafi elettrici stabiliti lungo alcune ferrovie. Come questi, esso è composto di due apparati distinti: l'uno il *manipolatore*, destinato a trasmettere i segnali (fig. 591); l'altro il *ricevitore*, destinato a riceverli (figura 592). Il primo di tali apparati comunica con una pila a carbone Q, ed i due apparati comunicano fra loro per mezzo di due fili metallici, di ferro o di rame, l'uno dei quali, AOD (fig. 591), va dalla stazione di partenza alla stazione d'arrivo, e l'altro, HKLI (fig. 592), da quest'ultima alla prima. Finalmente, i due apparati sono muniti ciascuno di un quadrante su cui sono segnate le 25 lettere dell'alfabeto e sul quale si muove un ago. La mano dell'esperimentatore fa girare l'ago della stazione mittente e l'elettricità fa girare quello della stazione di arrivo.

Ciò posto, ecco l'andamento della corrente nei due apparati e gli effetti che essa produce. Dalla pila giunge per mezzo di un filo di rame A (fig. 591) ad una lastra di ottone N che è a contatto con una ruota metallica R; passa in una seconda lamina M, poi nel filo O che comunica coll'altra stazione. Ivi, la corrente si porta nel rocchetto di una elettro-calamita *b*, che non si vede nella figura 591, ma che è rappresentata in profilo nella figura 593, la quale mostra la parte posteriore dell'apparato. Questa elettro-calamita ad una estremità è fissa orizzontalmente, ed all'altra attrae un'armatura di ferro dolce *a*, la quale fa parte di una leva a gomito mobile attorno al punto d'appoggio *o*, mentre una molla a spirale *r* sollecita la stessa leva in senso contrario.

Ciò posto, quando la corrente passa, l'elettro-calamita attrae la leva *a*C, la quale per mezzo di un'asta *i* agisce sopra una seconda leva *d*, fissa ad un asse orizzontale, collegato esso pure ad una forchetta F. Quando la corrente è interrotta, la molla *r* riconduce la leva *a*C nella posizione primitiva e con essa tutti i pezzi che ne dipendono; epperò ne risulta un movimento alternativo che si comunica alla forchetta F, la quale fa muovere una ruota dentata G, il cui asse porta l'ago indicatore. La ruota G, a motivo dell'inclinazione de'suoi denti, è mossa dalla forchetta sempre nello stesso senso, il che è indispensabile.

Fig. 593.

Per comprendere le intermittenze della elettro-calamita, bisogna riportarsi alla figura 591. La ruota R ha 26 denti, dei quali 25 corrispondono alle lettere dell'alfabeto, e l'ultimo all'intervallo che trovasi fra le lettere A e Z. Quando, tenendo in mano il bottone P, si fa girare la ruota R, l'estremità della lamina N, attesa la sua curvatura, è sempre a contatto coi denti; la lamina M invece è terminata da un'ala di forma tale che avvenga successivamente contatto e distacco. Quindi se, stabilita la comunicazione colla pila, si fa avanzare l'indice P di quattro lettere, per es., la corrente passa quattro volte da N in M, e quattro volte resta interrotta. L'elettro-calamita della stazione d'arrivo avrà attratta quattro volte la leva *a*C e quattro volte l'avrà abbandonata; dunque la ruota G avrà girato di quattro denti; e siccome ciascun dente corrisponde ad una lettera, l'in-

dice della stazione d'arrivo si sarà avanzato di un numero di lettere uguale a quello della stazione di partenza. Il pezzo S, rappresentato nelle due figure, è una lamina di ottone mobile sopra una cerniera, il quale serve ad interrompere od a chiudere il circuito a piacere.

Dietro quanto precede è facile il comprendere come si possa corrispondere da un luogo ad un altro. Supponiamo, per es., che il primo apparato (fig. 591) sia a Milano ed il secondo a Torino, e che, stabilita la comunicazione tra le due stazioni mediante due fili metallici, si voglia trasmettere alla seconda città la parola *segno:* mentre gli indici in ciascun apparato corrispondono all'intervallo esistente fra le lettere A e Z, la persona che trasmette il dispaccio fa avanzare l'indice P fino alla lettera S, ed ivi lo trattiene per un tempo brevissimo; l'ago dell'apparecchio che trovasi a Torino, riproducendo fedelmente i movimenti dell'indice di Milano, si ferma alla stessa lettera, ed allora la persona che riceve il dispaccio nota questa lettera: la persona che trovasi a Milano continuando a far girare l'indice nello stesso senso, arresta l'ago alla lettera E, e l'indice dell'altro apparato si ferma tosto alla stessa lettera; continuando nello stesso modo per le lettere G, N, O, tutta la parola è ben presto trasmessa a Torino.

Per richiamare l'attenzione della persona a cui si scrive, si applica alla stazione d'arrivo una soneria, che deve essere introdotta nella corrente ogniqualvolta la corrispondenza è sospesa. Un grilletto, mosso dall'elettro-calamita, fa scattare questa soneria tosto che la corrente passa, e ciò indica che sta per essere trasmesso un dispaccio. Inoltre, ogni stazione deve essere provveduta dei due apparati suddescritti (figure 591 e 592); altrimenti sarebbe impossibile il rispondere.

Abbiamo supposto che la corrente trasmessa da Milano a Torino in un filo metallico, ritorni nello stesso modo da Torino a Milano in un secondo filo. Ora, questo secondo filo è inutile: giacchè l'esperienza insegnò che allorquando il polo positivo della pila comunica ad una stazione coll'apparato, ed il polo negativo col suolo, basta che il filo conduttore che si porta all'altra stazione sia ivi posto in comunicazione intima col suolo. Si ammise dapprincipio che la corrente ritornasse allora da Torino a Milano per terra, ma si ammette generalmente in oggi, con maggior ragione, che la terra agendo in questo caso come serbatoio, assorba, alle due estremità libere dei fili, le elettricità che la pila vi invia; da cui risulta, nel filo, la stessa corrente continua come se le sue due estremità si toccassero.

737. **Telegrafo elettrico scrivente di Morse.** — Oltre i *telegrafi a lettere,* nel genere di quello che è stato descritto si fa uso anche di *telegrafi elettrici a segnali.* In questi ultimi su di un quadrante bianco è tracciato un tratto nero orizzontale e fisso, alle estremità del quale sono due indicatori mobili, essi pure neri, che mossi ciascuno da una elettro-calamita distinta, si dispongono orizzontalmente, verticalmente, o sotto una inclinazione di 45 gradi a dritta o a sinistra; da cui risultano gli stessi segnali come negli antichi telegrafi aerei di Chappe. Ma i telegrafi a segnali, come quelli a lettere, presentano il grave inconveniente di non conservare alcuna traccia dei dispacci trasmessi, e se alcuni errori sono stati commessi ricopiando i segni, non si ha alcun mezzo di controllarli. Questi inconvenienti non esistono nei *telegrafi scriventi,* che tracciano essi stessi i segnali su una lista di carta, a misura che vengono trasmessi.

Si immaginò un gran numero di telegrafi elettrici scriventi o tipografici. Quello inventato da Morse, a New-York, nel 1837, fu dapprima adottato nell'America del Nord, poi successivamente in tutta Europa. Come tutti i telegrafi elettrici, quello di Morse si compone di due apparati distinti, il *manipolatore* e il *ricevitore*, riuniti da un filo metallico che conduce la corrente di una pila, dal primo apparecchio al secondo. La pila che si impiega generalmente è quella di Daniell.

Ricevitore. — Questo apparecchio, rappresentato dalla figura 594, possiede un movimento di orologeria i cui pezzi non sono visibili nel

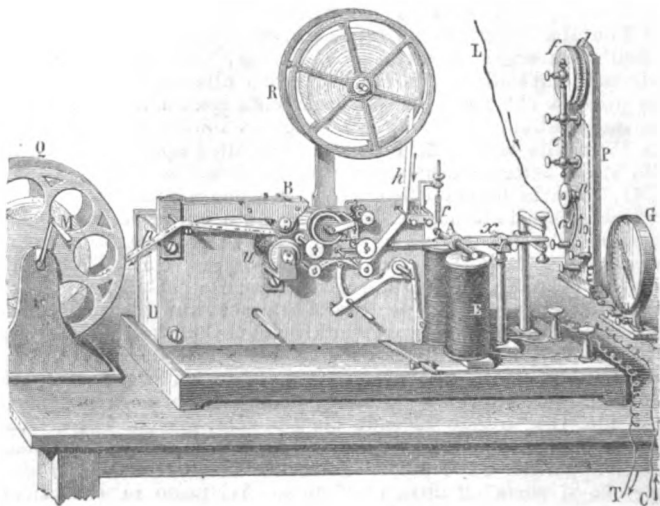



Fig. 594.

disegno, essendo rinchiusi in una cassa BD. Al disopra di questa cassa trovasi un tamburo R, attorno al quale è avvolta una lunga lista di carta *ph;* quest'ultima, presa come in un laminatoio da due cilindri messi in moto dal movimento di orologeria, è trascinata nel senso delle frecce su un secondo tamburo G, che si fa girare colla mano sinistra mediante una manovella M. Sulla diritta della cassa trovasi una elettro-calamita E, nella quale passa la corrente che viene dalla stazione mittente. Finalmente, la parete anteriore della cassa porta diversi organi destinati a scrivere i dispacci sulla lista di carta.

La figura 595 rappresenta questi organi in maggior dimensione. Al disopra della elettro-calamita trovasi una leva k, mobile attorno ad un asse x. A questa leva è fissata un'armatura di ferro dolce A, che viene attratta quando la corrente passa, ciò che fa abbassare la leva; poi è rilevata da una molla spirale r, non appena venga interrotta la corrente. All'estremità di dritta trovansi due viti che servono, per la loro maggiore o minore distanza, a regolare l'ampiezza delle oscillazioni della leva. All'altra estremità, in i, trovasi un piccolo bottone orizzontale; si vedrà tosto che esso è il pezzo scrivente.

Nel telegrafo di Morse propriamente detto, la leva *k*, che è stata descritta or ora, terminava in *i*, con uno stilo, il quale, urtando a ciascuna oscillazione, con un colpo secco sulla carta, vi formava una solcatura che tracciava i dispacci; ma oltre che questa solcatura era poco

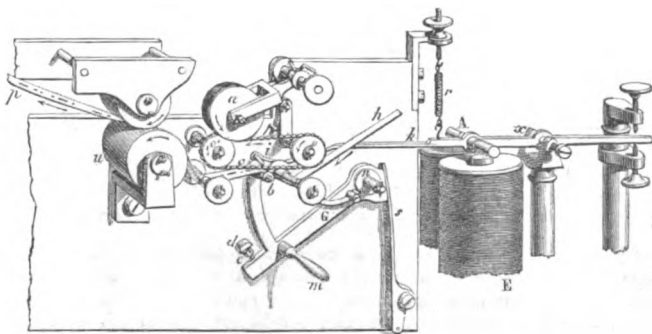



Fig. 593.

visibile, esigeva molta forza e di conseguenza una corrente intensa. Per evitare questo doppio inconveniente, diversi costruttori hanno modificato il telegrafo di Morse, in modo da tracciare i segnali coll'inchiostro. Non soltanto questi ultimi sono così più leggibili, ma essi ponno venir tracciati con minor forza.

Sono di questo genere i tratti dei segnali che vengono dati dai pezzi suddescritti. In *a* è un cilindro ricoperto di una stoffa di lana, che si ha cura di mantenere imbevuta di un inchiostro grasso passandovi sopra un pennello intriso in questo inchiostro. Al disotto del cilindro trovasi una catena senza fine che si avvolge sopra due puleggie *o, o'*, delle quali l'ultima è posta in rotazione dal movimento di orologeria. Al disotto della catena, a piccolissimo intervallo, trovasi la lista di carta *ph* sulla quale si scrive il dispaccio. Finchè la corrente non passa nell'elettro-calamita, la carta non tocca la catena; ma non appena la corrente passa, l'armatura A è attratta, la leva *k* si abbassa, e lo stilo *i* fissato alla sua estremità viene ad appoggiarsi sulla catena e la mette in contatto colla carta. Ora, la catena, deponendo allora l'inchiostro che essa ha preso dal cilindro *a*, traccia sulla carta, di mano in mano che si avanza, un tratto o un punto, secondo il tempo che l'armatura A rimane unita all'elettro-calamita, vale a dire secondo il tempo che passa la corrente. Se quest'ultima non passa che per un tempo cortissimo, la catena colpisce istantaneamente e non produce che un punto (.); ma se il contatto ha una certa durata, si produce un tratto più o meno allungato (—). Si può dunque, facendo, alla stazione di spedizione, passare la corrente durante un intervallo più o meno lungo, produrre a volontà, alla stazione d'arrivo, un tratto od un punto, e, di conseguenza, delle combinazioni di tratti e di punti. Restava a dare a queste combinazioni una significazione determinata. Ciò fece Morse, rappresentando le lettere dell'alfabeto colle combinazioni seguenti,

che danno il mezzo di scrivere parole e frasi, lasciando un bianco fra ciascuna lettera.

ALFABETO DI MORSE

· —	a	· ·	i	· — ·	r
· — · —	ä	· — — —	j	· · ·	s
— · · ·	b	— · —	k	—	t
— · — ·	c	· — · ·	l	· · —	u
— · ·	d	— —	m	· · — —	ü
·	e	— ·	n	· · · —	v
· · — · ·	é	— — —	o	· — —	w
· · — ·	f	— — — ·	ö	— · · —	x
— — ·	g	· — — ·	p	— · — —	y
· · · ·	h	— — · —	q	— — · ·	z

Manipolatore. — Esso si compone di una piccola tavoletta di acaiù che serve di sostegno ad una leva metallica *ab* (fig. 596), mobile nel suo mezzo su di un asse orizzontale. L'estremità *a* di questa leva tende sempre ad essere sollevata da una molla situata al disotto. In modo

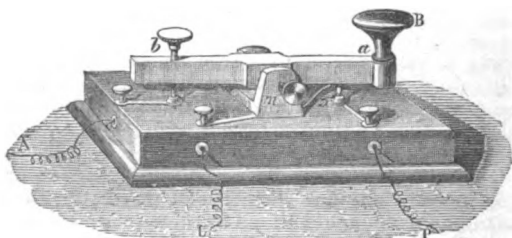



Fig. 596.

che non è che appoggiando col dito sul manubrio B che la leva si abbassa e viene a colpire il bottone *x*. Finalmente, attorno alla tavoletta trovansi tre borchie in comunicazione, l'una col filo P, che parte dal polo positivo della pila della stazione, la seconda col filo L, che è il filo della linea, e la terza col filo A, che si rende al ricevitore della stazione; poichè s'intende che le due stazioni corrispondenti sono provvedute ciascuna di un manipolatore e di un ricevitore.

Conosciuti questi particolari sonvi due casi da considerarsi: 1.° il manipolatore è disposto per ricevere un dispaccio da un posto lontano; l'estremità *b* è allora abbassata come nel disegno antecedente in modo che la corrente che giunge per il filo della linea L e passa nel pezzo metallico *m*, passa ancora nel filo A, che la conduce al ricevitore della stazione in cui è posto l'apparecchio. 2.° Si tratta di trasmettere un dispaccio; in questo caso, si appoggia sul manubrio B in modo che la leva venga a contatto col bottone *x*. La corrente della pila della stazione che giunge per il filo P, ascendendo allora nella leva, ne ridiscende per il pezzo *m* e si porta al filo della linea L, che la conduce alla stazione alla quale è diretto il dispaccio. Ora, è a seconda del

tempo che si appoggia sul manubrio B che si produce, al ricevitore dove va la corrente, un punto o un tratto. Se non si opera che un semplice urto sul bottone x, si forma un punto; ma se il contatto si prolunga durante un intervallo di tempo piccolissimo del resto, si produce un tratto.

Parafulmine e galvanometro. — Il parafulmine è un piccolo apparecchio destinato a preservare l'impiegato che mette in azione il telegrafo nel caso in cui, per influenza della elettricità atmosferica, in tempo di temporale, i fili conduttori si caricassero di una quantità di elettricità sufficiente per dare scintille pericolose. Il pezzo che opera da parafulmine si compone di due dischi di rame d e f (fig. 594), muniti di denti sulle facce in presenza, ma che non si toccano. Il disco d è in comunicazione colla terra mediante una lamina metallica fissata dietro la tavoletta che porta il parafulmine, mentre il disco f si trova nella corrente. Perciò, quest'ultima, giungendo per il filo della linea L, entra nel parafulmine per una borchia fissata nella parte inferiore della tavoletta, a sinistra; monta in seguito nel commutatore n che la conduce ad un bottone c, dal quale giunge al disco f mediante una lamina metallica situata dietro la tavoletta. Là, l'elettricità agendo per influenza sul disco d, passa per le punte, senza pericolo per quelli che sono presso all'apparecchio. Inoltre, dal disco f la corrente passa in un piccolo filo di ferro finissimo, isolato e rinchiuso nel tubo e. Ora, questo filo essendo fuso dalla corrente quand'essa sia troppo intensa, l'elettricità non si reca più all'apparecchio, ciò che toglie anche il pericolo. Dal tubo e la corrente discende al basso della tavoletta, in una borchia posta a diritta della prima, e di là in un piccolo galvanometro verticale G, servente ad indicare, colla deviazione dell'ago, se la corrente passa negli apparecchi.

Cammino generale della corrente. — Riassumendo quanto precede, si vede che la corrente derivante dalla stazione mittente, giungendo per il filo della linea L (fig. 594), attraversa dapprima il parafulmine, poi il galvanometro. Di là non va direttamente al ricevitore, ma si porta dapprima al manipolatore (fig. 596), nel quale essa entra in L, e dal quale esce in A, per recarsi al ricevitore, nel quale giunge pel filo C (fig. 594). Là, essa passa nell'elettro-calamita E, fa oscillare la leva k, e va infine a disperdersi nella terra pel filo T.

Se, invece, si considera il caso, non già in cui si riceve un dispaccio, ma quello in cui si spedisce, la corrente si trasmette nel modo seguente. Il manubrio B (fig. 596) essendo allora abbassato, e la leva ab in contatto col bottone x, la corrente che giunge dalla pila della stazione pel filo P esce dal manipolatore pel filo L; poi passando nel galvanometro e nel parafulmine, se ne va finalmente pel filo della linea L alla stazione alla quale si scrive.

738. **Relais.** — Si vedrà ben tosto che l'intensità delle correnti è in ragione inversa della lunghezza del circuito ch'esse percorrono (779). Ne consegue che se le due stazioni che corrispondono sono molto lontane l'una dall'altra, può accadere che la corrente non sia più abbastanza energica per fare funzionare i pezzi che scrivono il dispaccio. Si ricorse perciò al *relais*. Si dà questo nome ad un apparecchio sensibilissimo percorso dalla corrente della linea e servente ad introdurre nel ricevitore la corrente di una *pila locale,* di quattro o cinque elementi, situata nella stazione, e non avente altro uso che di imprimere i se-

gnali trasmessi dal filo della linea. Per ciò, la corrente della linea, entrando nel relais per la borchia L (fig. 597), si reca in un elettro-calamita E, da cui va in seguito a perdersi nella terra per la borchia T.

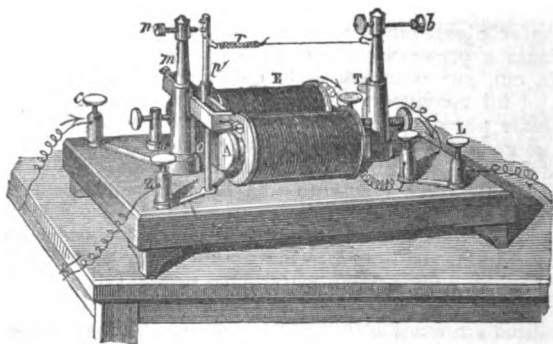



Fig. 597.

Ora, ogni qualvolta la corrente della linea passa nel relais, l'elettro-calamita attira un'armatura A fissata alla parte inferiore di una leva verticale *p* che oscilla attorno ad un asse orizzontale.

A ciascuna oscillazione, la leva *p* urta colla sua parte superiore ad un bottone *n*, e a questo momento, la corrente della pila locale che giunge per la borchia *c*, ascende nella colonna *m*, passa nella leva *p*, discende per l'asta *o* che la conduce alla borchia Z; di là si reca all'elettro-calamita del ricevitore, d'onde esce per il filo T (fig. 594), per ritornare alla stessa pila locale da cui è partita. Poi, quando la corrente del filo di linea si interrompe, l'elettro-calamita del relais non avendo più facoltà attrattiva, la leva *p*, trascinata da una molla a spirale *r*, si allontana dal bottone *n*, come mostra il disegno, e la corrente della pila locale più non passa. Si vede dunque che il relais trasmette al ricevitore esattamente le stesse fasi di passaggio e di intermittenza che quelle che sono operate dal manipolatore nella stazione che invia il dispaccio.

Il telegrafo di Morse, modificato come lo rappresenta la figura 594, vale a dire tracciante i caratteri ad inchiostro, invece dalla solcatura a punta secca, esige pochissimo dispendio di forza, e può trasmettere i dispacci fino a 200 chilometri senza relais.

739. **Telegrafo tipografico di Hughes.** — Hughes, professore di fisica a New-York, ha inventato recentemente un telegrafo tipografico che dà risultati rimarchevoli di rapidità e di fedeltà nella trasmissione dei dispacci. Questo apparecchio, complicato nei suoi particolari, è fondato su due principii semplici e ingegnosi che non erano stati applicati fin qui ai telegrafi elettrici. Il primo è che la forza motrice non è più data dalla corrente, ma da un peso di 50 chilogrammi circa che tende a far muovere tutto l'apparecchio in modo continuo, e che si rimonta mediante un pedale quando sia in basso della sua corsa. In modo che la corrente non ha altra funzione che quella di ingranare e

disingranare una ruota il cui albero porta un eccentrico che, al momento voluto, solleva la lista di carta sulla quale si vuol stampare tale o tal' altra cifra. Il secondo principio è che l'elettro-calamita agisce in modo inverso a quelle degli altri telegrafi elettrici; vale a dire che non è quando la corrente passa che essa tiene a contatto la sua armatura, ma quando non passa. Per ciò, il ferro dolce dell'elettro-calamita è in contatto, alla sua parte inferiore, con una piccola calamita a ferro di cavallo. Calamitata per influenza da quest'ultima, essa ritiene la sua armatura; ma il senso della corrente che percorre il filo dell'elettro-calamita essendo tale, che la magnetizza in senso contrario della calamitazione che possiede già, la più debole corrente che passi nel filo la smagnetizza. Quest'ultima abbandona la sua armatura, che è sollecitata da una spirale, ed è allora che si produce l'ingranamento, come si vedrà tosto.

La figura 598 dà la vista dell'insieme di questo nuovo telegrafo, modificato e costrutto con grande precisione dal Froment. Le figure 599,

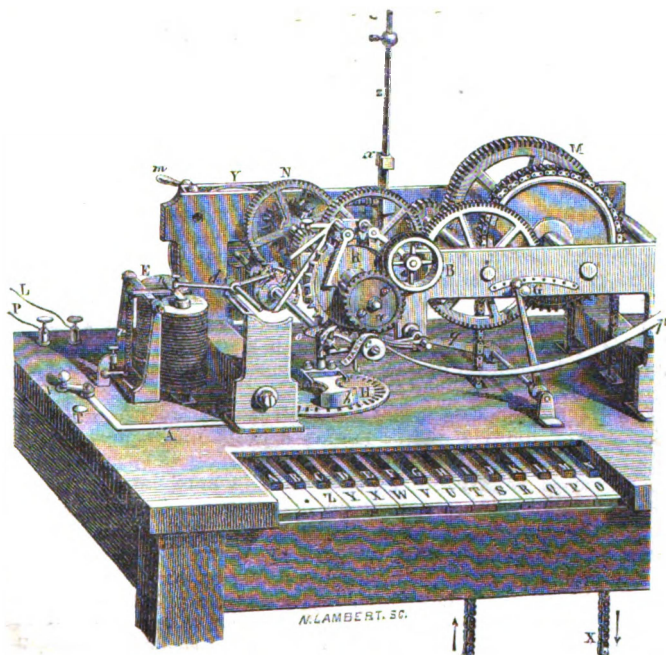



Fig. 598 (l. = 45).

600 e 601 seguenti ne danno i principali particolari in maggiori dimensioni. In tutte le figure, agli stessi pezzi corrispondono le medesime lettere.

Sul davanti della tavola che porta l'apparecchio trovasi una tastiera a 28 tasti, di cui 26 portano le lettere dell'alfabeto, il 27mo, un punto e l'ultimo un bianco. Al di là della tastiera trovasi un disco di rame H, che sostiene al suo centro un asse verticale J (fig. 599), che gira con una velocità di due giri al secondo, e con lui il carro *h* che è fisso, e di cui si vedrà bentosto la funzione.

Fig. 599.

Dopo il disco H trovasi una costruzione portante una serie di ruote mosse da un peso di 50 chilogrammi, che agisce su di una catena senza fine X; questa catena trasmette il movimento alla ruota M, e da questa, per una serie di rocchetti e di ruote, alla ruota N. All'asse di quest'ultima è fissato un toro di ottone Y, agente come volante per regolare il movimento. È questo toro che serve ad arrestare l'apparecchio mediante un freno che si fa muovere colla presa *m*. Premendo su quest'ultima, tutti i pezzi si arrestano quasi istantaneamente. La ruota N, di cui noi parlavamo qui sopra, conduce, a sinistra e un po' al disotto, un piccolo rocchetto che dà il movimento alla ruota *g*, agli eccentrici *o* e *i*, e ad un cilindro *c* che serve a sollevare la lista di carta (fig. 601). In una parola, è l'asse mosso da questo piccolo rocchetto che porta i pezzi principali dell'apparecchio.

Sul davanti della costruzione trovasi un cilindro B, che è il distributore dell'inchiostro. A questo scopo, esso è circondato da una stoffa compatta di lana che si mantiene sempre imbevuta di inchiostro grasso, come nel telegrafo di Morse modificato (737). Tangenzialmente a questo cilindro trovasi una ruota *a*, munita sul suo contorno di 27 denti portanti in rilievo le 26 lettere dell'alfabeto e un punto. Un dente manca per dare un bianco; nel disegno quest'ultimo è rappresentato a contatto col cilindro B.

In *z*, sulla faccia posteriore della costruzione, trovasi una lamina di acciaio, elasticissima; a questa lamina è unita una molla spirale orizzontale, terminata da un piuolo che urta contro una specie di rocchetto fissato all'albero della ruota N, e figurato in nero dietro quest'ultima. I denti di questo rocchetto, urtando il piuolo che termina la molla a spirale, mettono in vibrazione la lamina *z*, e a seconda che questa oscilla più o meno velocemente, essa agisce come acceleratore o ritardatore sulla ruota a rocchetto, e per conseguenza su tutto il sistema. Ora, raccorciando o allungando la lamina *z*, si può accelerare o ritardare le sue vibrazioni a volontà, come un pendolo. Perciò, un peso addizionale x può scorrere lungo la lamina, risultato che si ottiene mediante un'asta parallela alla lamina, e fissata da un capo al peso x e dall'altro ad una leva q, alla quale trasmette il movimento mediante una manovella G. Girando a dritta la manovella, la leva q è sollevata, e con essa il peso x; in tal caso le vibrazioni della lamina si rallentano. Girando la manovella a sinistra, si ottiene l'effetto contrario.

Sul margine della tavola trovansi due viti a pressione che ricevono l'una il filo P derivante dalla pila della stazione e che si reca alla tastiera, l'altro il filo di linea L che si reca all'elettro-calamita. Sulla sinistra della stessa tavola sonvi due bottoni metallici V e T, destinati, il primo a ricevere il dispaccio, il secondo a trasmetterlo. Perciò, un piccolo contatto metallico, terminante la lamina A, è mobile su di una cerniera munita di una presa d'avorio. Prendendo quest'ultima in mano, si mette il contatto in comunicazione col bottone V o T, secondo che si vuol trasmettere o ricevere il dispaccio. Finalmente, in E trovasi l'elettro-calamita, in *n* la sua armatura; in *r* una molla spirale, che tende costantemente a sollevare l'armatura *n*. Su questa si appoggia una leva *d*, che è sollevata nello stesso tempo dall'armatura. Questa leva *d* prolungata va ad agire sulla ruota *g* e a produrvi l'imboccamento, come si scorge nella figura 600. Ora che l'insieme dell'apparecchio è conosciuto, passiamo ai dettagli, il primo dei quali a studiarsi è quello rappresentato dalla figura 599.

Il disco H è forato sul suo contorno da 28 fori, in ciascuno dei quali passa un dente di acciaio verticale o', o'', o'''..., mosso da una leva che riceve il suo movimento da un tasto della tastiera. In modo che a ciascun foro del disco H corrisponde una lettera della tastiera, e che se si preme, per esempio, sul tasto F, immediatamente il dente corrispondente si alza al disopra del disco H di due millimetri circa. Ora, si è già veduto che l'albero J e il carro *h*, che vi è fissato, girano con una velocità di due giri al secondo. Da che risulta che, per esempio, appena il dente o'' è sollevato esso incontra una lamina d'acciaio $a'a''$, isolata dal rimanente dell'apparecchio da lamine d'avorio, ma in comunicazione metallica coll'albero J. La corrente, che dalla tastiera si è recata al dente o'', passa dunque attualmente nell'albero J e da questo in tutta la costruzione. Da questa si reca al bottone T (fig. 598), e se il contatto per trasmettere il dispaccio è stabilito, passa nell'elettro-calamita E, e finalmente nel filo della linea L, che la conduce all'elettro-calamita della stazione alla quale è diretto il dispaccio, e dove essa fa stampare la lettera corrispondente al tasto che si è premuto.

Importa di osservare che tanto alla partenza come all'arrivo, la corrente passa ciascuna volta nell'elettro-calamita della stazione mittente e di quella ricevitrice. Infatti, risulta da ciò che il dispaccio si stampa nello stesso tempo alle due stazioni; ciò che dà il mezzo di verificarlo costantemente e di mantenere un accordo perfetto tra i due apparecchi.

Al suo passaggio nella elettro-calamita, si è già veduto che la corrente la smagnetizza, e che la molla a spirale *r* (fig. 600) fa lasciar libera l'armatura *n*. Ora, il braccio di leva *d* essendo allora sollevato dall'armatura, il braccio *d'* si abbassa, e questo movimento fa stampare una lettera. Per comprendere l'effetto che si produce qui, osserviamo dapprima che i due alberi U, U', sono indipendenti l'uno dall'altro: l'albero U, al quale è fissata la ruota a rocchetto *g*, gira sempre; ma l'albero U', al quale è fissato il rocchetto *c'*, non può girare che quando questo rocchetto è in contatto coi denti della ruota *g*. Ora, fintanto che il braccio di leva *d'* è sollevato, esso solleva un piccolo piuolo *c'*, e con esso il rocchetto *c'*; non v'ha dunque imboccatura fra i denti delle ruote dentate, e l'albero U gira da solo. Ma tosto che il braccio *d'* si abbassa, il rocchetto *c'*, che non è più sostenuto, è spinto da una molla *v* che lo preme dall'alto al basso, imbocca colla ruota *g*, e, trascinato da

essa, trasmette il suo movimento al settore massiccio ll' e all'albero U'. Ora, è questo albero che porta gli eccentrici o, i (fig. 598 e 601) e solleva la lista di carta durante la sua impressione. Si vede dunque come il meccanismo che abbiamo descritto abbia una funzione importante nell'apparecchio. Ma non passiamo oltre senza far conoscere la funzione

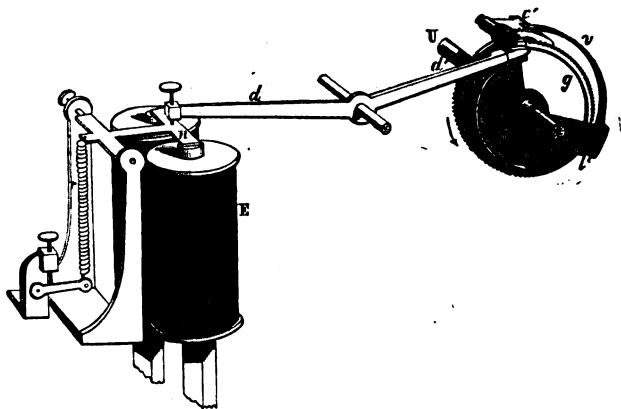



Fig. 600.

della lamina fissa u, agente come eccentrico sulla leva d'. A misura che la ruota g gira nel senso indicato dalla freccia, l'eccentrico u solleva il braccio d', e con lui il piuolo c'' e il rocchetto c'. In modo che dopo un giro completo del settore ll', accade di nuovo la cessazione dell'imboccatura. Il settore ll' si arresta dunque, e con esso l'albero U'; in maniera che questo non fa mai che un giro. È ancora da osservarsi che l'eccentrico u non serve solamente a far cessare l'imboccatura del rocchetto c', ma che, sollevandone il braccio d', abbassa d. Ora, quest'ultimo, appoggiandosi sull'armatura n, la spinge e la mette in contatto coll'elettro-calamita, fino a che la corrente passando di nuovo, riproduce l'imboccamento.

Per terminare, ci rimane a descrivere il meccanismo che serve a stampare (fig. 601). Questo meccanismo è complicato, e ci è impossibile di descriverlo qui in tutti i suoi dettagli. La ruota tipografica a, che porta sul suo contorno le 26 lettere e un punto, e si tinge di inchiostro continuamente sul cilindro B, è animata da un movimento di rotazione continuo, sia che essa stampi o non istampi. È importante qui che questa ruota sia sempre d'accordo col carro h della figura 599; vale a dire che al momento in cui questo è in comunicazione con un tasto della tastiera, per esempio, il tasto F, bisogna che la stessa lettera si trovi esattamente al basso della ruota tipografica; giacchè in questo momento la lista di carta viene ad essere sollevata e l'impressione si compie. Infatti, è appunto allora che l'albero U imboccando con U (fig. 600), gli eccentrici e i denti posti su U' cominciano ad agire. Un dente acuto posto all'estremità anteriore di U solleva la leva tt'. Ora, è questa leva che porta il cilindro c sul quale trovasi la

lista di carta, mantenuta da una doppia lamina elastica. Il cilindro essendo sollevato rapidamente, la carta viene ad urtare con un colpo secco sulla lettera F, che abbiamo supposta al basso della ruota *a*, e questa lettera è stampata. Immediatamente, l'eccentrico *i* agisce sulla estremità della leva *bb'*, alla quale è fissata una lamina *y*. Questa, alla

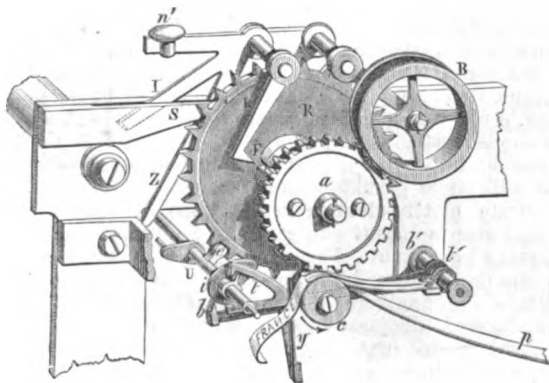



Fig. 601.

sua estremità superiore, porta un congegno che fa muovere una ruota a rocchetto fissa all'asse del cilindro *c*. Da che risulta che abbassandosi, *y* fa girare il cilindro e avanzare la lista di carta, appunto di una quantità eguale all'intervallo tra due lettere; in modo che la carta è pronta a ricevere la stampa di una nuova lettera. Se si abbassa, per esempio, il tasto R sulla tastiera, il carro *h* (fig. 599), s'imbocca col dente sollevato, all'istante preciso in cui la lettera R è al basso della ruota tipografica. Ma la carta venendo a colpirla nello stesso momento, la lettera R si stampa, e così di seguito di tutta la parola *France* scritta sulla lista di carta.

Il dente *e* fissato sull'asse U ha una parte importante: esso serve a regolare il movimento tra la stazione che trasmette e quella che riceve. Perciò questo dente si impegna tra i denti della ruota R, e quando non v'ha concordanza, essa preme i denti o resiste ad essi, di modo tale da rettificare la posizione di questa ruota e nello stesso tempo della ruota *a*, facendoli avanzare od indietreggiare; giacchè queste due ruote non sono invariabilmente fissate sui loro alberi.

Quanto al bottone *n'*, quando poggia di sopra, si abbassa nello stesso tempo dei bracci di leva I, Z, K; quest'ultimo porta un dente che si impegna in una *tacca* F, collegata alle ruote R ed *a*. Quando questo dente è impegnato nella tacca, il *bianco* della ruota *a*, vale a dire l'intervallo senza lettera, si trova appunto in basso. Si ha dunque un mezzo di *mettere in bianco*, ciò che si fa sempre quando si ferma, o quando si scorge che alle due stazioni gli apparecchi sono in disaccordo. Il pezzo I, abbassandosi, allontana una lamina S, che mediante una ruota dentata non visibile nel disegno, fa cessare l'imboccamento

delle ruote R e *a*, le quali cessano tosto di girare, quantunque il movimento delle altre ruote M, N (fig. 598) continui. Ma, appena la corrente giunge, l'albero U' facendo una rivoluzione, l'eccentrico *o* solleva il braccio Z, e con esso i pezzi I, K; in modo che le ruote R e *a* ricominciano tosto a girare.

Quanto al regolamento del sincronismo tra le due stazioni si ottiene nel modo seguente. Avendo data ai due apparecchi una velocità tale, che il carro *h* (fig. 599) faccia sensibilmente due giri per secondo, uno dei corrispondenti trasmette una lettera qualunque che ripete a ciascun giro del carro. Se la stessa lettera si riproduce costantemente all'altra stazione, il sincronismo è sufficiente; ma se la stessa lettera non si riproduce, e che i caratteri stampati s'avanzino da A a B, da B a C, ciò indica che alla stazione ricevente il movimento è più rapido che non a quella mittente. In tal caso, alla prima stazione, si rallenta il movimento sollevando gradatamente il corsoio *x* (fig. 598).

740. **Telagrafo elettro-chimico registratore di Bain.** — I *telegrafi elettro-chimici* sono apparati che scrivono i dispacci con segni colorati sopra una carta impregnata di cianuro giallo di ferro e di potassio, sale che viene decomposto dalla corrente di una pila locale, nella stazione ricevente, ogniqualvolta essa passa attraverso alla carta.

Il primo telegrafo di questa specie è dovuto allo scozzese Bain. Le lettere vi sono rappresentate dagli stessi segni come nel telegrafo di Morse, cioè con combinazioni di linee e di punti; il dispaccio però deve essere dapprima *composto*, nella stazione mittente, sopra una lunga lista di carta ordinaria. Perciò, in quest' ultima, sono praticati con uno stampo e successivamente dei piccoli fori rotondi che rappresentano i punti di Morse, e dei fori allungati che corrispondono alle linee. Questa lista di carta viene indi interposta fra una piccola girella metallica, ed una lastra elastica pure di metallo, formanti parte, sì l'una che l'altra, della corrente della pila della stazione. Ora, il cilindro, girando, trascina seco la lista di carta, tutte le parti della quale vengono successivamente a passare fra il cilindro e la lamina. Quindi, se la lista di carta non fosse forata, non essendo conduttrice, si opporrebbe costantemente al passaggio della corrente; ma a motivo dei fori che vi sono praticati, ciascuna volta che uno di essi passa, avvi contatto fra il cilindro e la lamina, e la corrente continua per andare a far funzionare il relais della stazione ricevente, e tracciarvi in turchino, sopra un disco di carta impregnata di cianuro, la stessa serie di punti e di linee come sulla lista di carta.

Pouget-Maisonneuve costrusse un telegrafo nel quale il dispaccio è registrato, nel posto ricevente, col processo chimico di Bain; ma, nel posto mittente, il dispaccio non è composto, esso è inviato direttamente mediante il manipolatore di Morse (fig. 596).

741. **Orologi elettrici.** — Gli *orologi elettrici* sono movimenti d'orologeria di cui una elettro-calamita, per mezzo di una corrente elettrica successivamente interrotta, serve in pari tempo di motore e di regolatore. La figura 602 rappresenta il quadrante di uno di questi orologi, e la figura 603 il meccanismo che fa muovere gli indici.

Una elettro-calamita B attrae un pezzo di ferro dolce P, mobile sopra un perno *a*. Il pezzo trasmette il suo moto alternativo ad una leva *s*, la quale, per mezzo di un dente *n*, fa girare la ruota A. Questa, mediante un rocchetto D, fa girare la ruota C, la quale, per una

serie di ruote e di rocchetti fa avanzare gli indici. L'indice più corto segna le ore ed il più lungo i minuti; però, siccome quest'ultimo non si avanza con moto continuo ma a salti bruschi, di secondo in secondo, ne segue che segna anche i secondi.

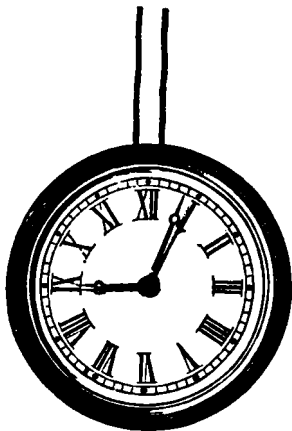



Fig. 602.

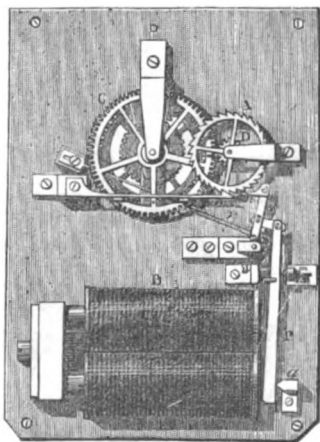



Fig. 603.

È evidente che la regolarità del moto degli indici dipende dalla regolarità delle oscillazioni del pezzo P. Ora, le intermittenze della corrente che passa nell'elettro-calamita B sono regolate da un orologio modello, regolato esso pure da un pendolo a secondi. A ciascuna oscillazione del pendulo, la corrente passa una volta ed una volta è interrotta; d'onde risulta che il pezzo P batte esattamente i secondi.

Ciò posto, ecco l'uso di questi orologi: supponiamo che tutte le stazioni di una strada-ferrata abbiano un orologio simile a quello ora descritto, e che alla prima stazione siavi un orologio regolatore dal quale parta il filo conduttore che si porta a tutti gli orologi della linea. Facendo passare la corrente in questo filo, tutti gli orologi segneranno esattamente la stessa ora, lo stesso minuto e lo stesso secondo; perchè vedremo quanto prima che l'elettricità della pila percorre circa 43 mila leghe per secondo, velocità che rende inapprezzabile il tempo che essa impiega per giungere dalla prima all'ultima stazione.

742. **Motori elettro-magnetici.** — Si fecero numerosi tentativi onde impiegare la forza attrattiva delle elettro-calamite come forza motrice per le macchine. La figura 604 rappresenta una macchina di questo genere costruita da Forment. Essa è composta di quattro energiche elettro-calamite A, B, C, D, fissate sopra un sostegno di ghisa X. Tra queste elettro-calamite trovasi un sistema di due ruote di ghisa mobili sopra uno stesso perno orizzontale e che portano alla loro periferia otto armature di ferro dolce M.

La corrente della pila giunge in K, sale nel filo E e si porta in un arco metallico O, il quale serve a farla passare successivamente in

ciascuna delle elettro-calamite, in modo che le attrazioni sulle armature M cospirino a produrre uguali effetti. Ora, questa condizione non può essere soddisfatta se non in quanto la corrente venga interrotta in ciascuna elettro-calamita, all'istante in cui un'armatura giunge davanti

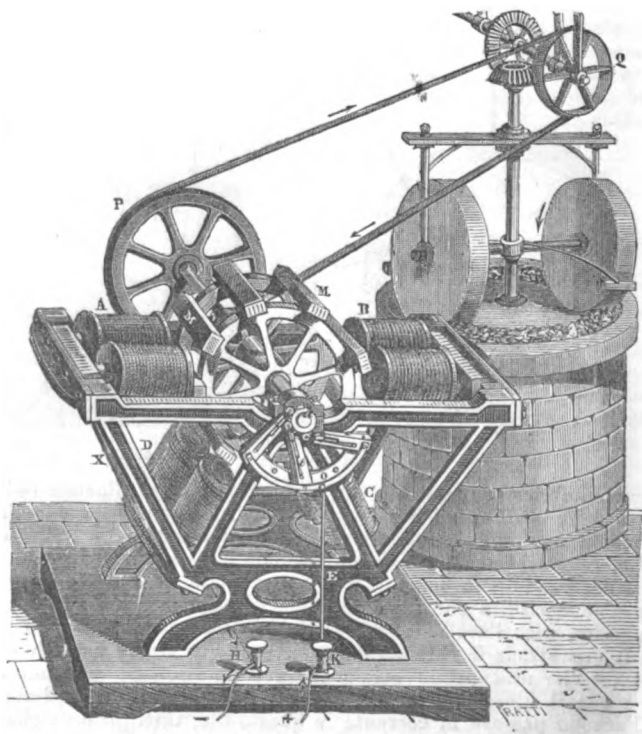



Fig. 601.

agli assi dei rocchetti. Per ottenere questa interruzione l'arco O porta tre braccia *e*, ciascuno dei quali è terminato da una lamina d'acciaio alla quale è fissata una piccola carrucola. Due di queste carrucole stabiliscono le comunicazioni rispettivamente con una delle elettro-calamite, la terza con due. Una ruota centrale *a* porta delle prominenze sulle quali si appoggiano alternativamente le carrucole. Ogni volta che una delle carrucole si appoggia su di una prominenza, la corrente passa nell'elettro calamita corrispondente, e cessa di passare tosto che non vi sia più contatto. Uscita dalle elettro-calamite la corrente ritorna al polo negativo della pila pel filo H.

A motivo di questa disposizione le armature M sono successivamente attratte dalle quattro elettro-calamite, ed il sistema di ruote che le sos-

tiene, piglia un rapido moto di rotazione, il quale per mezzo di una ruota P e di una correggia continua, viene trasmesso ad una carrucola Q, e da questa ad una macchina qualunque, per esempio, ad una macina.

Froment ha nelle sue officine una macchina elettro-motrice della forza di un cavallo vapore. Ma finora queste macchine non hanno potuto essere applicate all'industria, perchè la spesa degli acidi e dello zinco che esse consumano supera di molto quella del combustibile nelle macchine a vapore di egual forza. L'applicazione delle macchine elettromotrici dipende adunque principalmente dai perfezionamenti di cui abbisogna la pila [1].

CAPITOLO VI.

FENOMENI DI INDUZIONE

743. **Induzione per mezzo delle correnti discontinue.** — Si è già veduto (628) che si designa col nome di *induzione* l'azione che esercitano a distanza i corpi elettrizzati sui corpi allo stato neutro; ma è specialmente quando si tratta degli effetti prodotti dalla elettricità dinamica che questa denominazione è usata. Faraday che, pel primo, nel 1832, ha fatto conoscere questa classe di fenomeni, ha chiamato *correnti di induzione* o *correnti indotte* le correnti che si sviluppano nei conduttori metallici sotto l'influenza delle correnti elettriche, ed anche sotto l'influenza di calamite potenti, od anche sotto quella dell'azione magnetica della terra; ed ha chiamato *correnti induttrici* le correnti che agiscono per induzione.

L'induzione non si produce che al momento in cui la corrente induttrice comincia o finisce, o fintanto che la sua potenza induttiva varia, sia perchè l'intensità della corrente cresce o decresce, sia perchè la distanza tra i due fili aumenta o diminuisce.

Si constata l'induzione delle correnti, al momento dell'apertura o della chiusura del circuito che esse percorrono, mediante un rocchetto a due fili (fig. 605). Si chiama così un cilindro di cartone o di legno, sul quale si ravvolgono ad elice, dapprima un grosso filo di rame, poi uno più sottile, tutti e due ricoperti di seta o di cotone. Il filo grosso, che non fa che un piccolo numero di giri, termina a due viti di pressione *c* e *d* fissate su di una tavoletta che porta il rocchetto; mentre il filo fino, che ricopre il primo e che fa un gran numero di giri, termina a due viti di pressione *a* e *b*. Poste quest'ultime in comunicazione con un galvanometro, si fissa alla vite di pressione *d* un elettrodo della pila, e tenendo in mano l'altro elettrodo, lo si mette in contatto colla vite *c*, ciò che fa passare la corrente nel grosso filo, ma nel filo grosso soltanto. Ora, si osservano in tal caso i fenomeni seguenti:

[1] Negli Atti dell'Accademia fisio-medica-statistica dell'anno 1836 trovasi la descrizione di una di queste macchine, molto ingegnosa, inventata dal professore cav. Luigi Magrini. (*Nota del Trad.*)

1.° Al momento in cui il grosso filo comincia ad essore attraversato dalla corrente, il galvanometro, per la deviazione dell'ago, indica nel

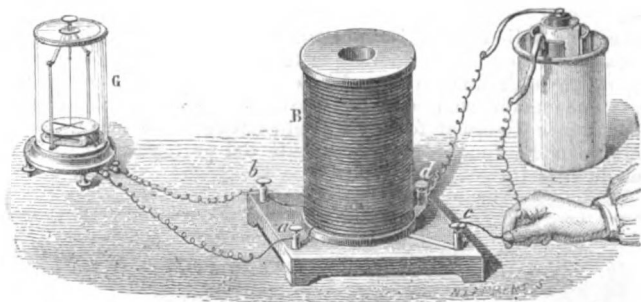



Fig. 605.

filo sottile una corrente *inversa* alla prima, vale a dire in senso contrario; la quale non è che istantanea, giacchè l'ago ritorna tosto allo zero, e vi rimane tutto il tempo che il grosso filo è percorso dalla corrente induttrice.

2.° All'istante in cui le comunicazioni sono rotte, il filo grosso cessa di essere attraversato da una corrente, si produce di nuovo, nel filo sottile, una corrente indotta, istantanea come la prima, ma *diretta,* vale a dire dello stesso senso della corrente induttrice.

Questi fenomeni possono essere assomigliati a quelli che furono studiati nella elettricità statica sotto il nome di elettrizzazione per influenza (628); si può infatti considerarli come il risultato della decomposizione e della ricomposizione, da molecola a molecola, dell'elettricità naturale del filo indotto per l'influenza della elettricità che si propaga nel filo induttore. Questa teoria della produzione delle correnti indotte è quella adottata da De La Rive nel suo *Trattato di elettricità.*

744. **Le correnti continue possono anch'esse dar nascimento a correnti indotte.** — Non è soltanto alla chiusura od alla apertura della corrente induttrice che una corrente indotta si sviluppa. Infatti, basta che una corrente si avvicini o si allontani da un circuito metallico chiuso per dar luogo ad una nuova decomposizione o ricomposizione del fluido, e far nascere una corrente indotta. Per dimostrarlo, sia un rocchetto cavo B, ad un solo filo finissimo e lunghissimo (fig. 606), e un secondo rocchetto A ad un solo filo esso pure, ma grosso e corto, il quale rocchetto sia di dimensioni tali da poter entrare nel primo. Ora se il rocchetto A essendo percorso da una corrente, si fa entrare bruscamente nel rocchetto B, un galvanometro in comunicazione con quest'ultimo indica, per il senso della sua deviazione, che si produce istantaneamente nel rocchetto maggiore una corrente *inversa,* che cessa tosto, ritornando l'ago allo zero per rimanervi tutto il tempo che il rocchetto piccolo sta nel maggiore. Ma se si ritira rapidamente, il galvanometro accusa nel filo sottile una corrente indotta *diretta.* Quando, invece di introdurre o ritirare bruscamente il rocchetto a grosso filo lo si avvicina od allontana lentamente, il galvanometro non indica che

una corrente debole, e tanto più debole, quanto più lento è il movimento.

Se, invece di far variare la distanza della corrente induttrice, si fa variare la sua intensità, aumentando o diminuendo la resistenza del cir-

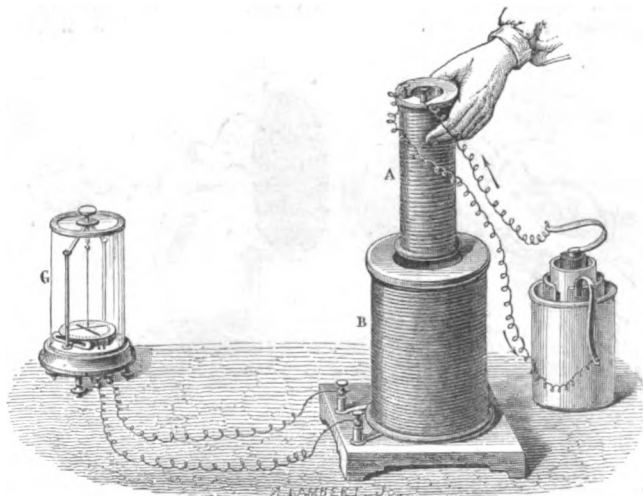



Fig. 606.

cuito, si osserva ancora che si produce nel filo fino una corrente indotta, inversa se l'intensità della corrente induttrice aumenta, diretta se essa diminuisce.

745. **Condizioni perchè si produca l'induzione, leggè di Lenz.** — Riassumendo i due paragrafi precedenti, se ne deducono le leggi seguenti:

1.ª Rimanendo costante la distanza, *una corrente continua e costante non sviluppa induzione in un circuito vicino*.

2.ª *Una corrente che comincia fa nascere una corrente indotta inversa*, cioè in senso contrario.

3.ª *Una corrente che finisce produce una corrente indotta diretta*, o dello stesso senso.

4.ª *Una corrente che si allontana, o di cui diminuisce l'intensità, dà luogo ad una corrente indotta diretta*.

5.ª *Una corrente che si avvicina, o di cui l'intensità aumenta, dà luogo ad una corrente inversa*.

6.ª Sull'induzione che si produce fra un circuito chiuso e una corrente in attività, quando la loro distanza relativa varia, Lenz ha posta la legge seguente, conosciuta sotto il nome di *legge di Lenz*, e che comprende le leggi 4 e 5 sovraccitate.

Quando una corrente si avvicina o si allontana rapidamente da un circuito chiuso, si sviluppa in quest'ultimo una corrente indotta di senso tale, che agendo secondo le leggi dell'elettro-dinamica (714) *sulla corrente induttrice le farebbe prendere un movimento inverso di quello in virtù del quale essa esercita la sua induzione*. Nella teoria di Ampère (727), questa legge si applica egualmente alle calamite.

746. Induzione coll' elettricità di sfregamento. — L'elettricità delle macchine elettriche sviluppa essa pure dei fenomeni di induzione. Coll'apparecchio seguente, dovuto a Matteucci, si constata benissimo l'induzione prodotta dalla scarica di una bottiglia di Leyda. Questo apparecchio si compone di due piatti di vetro, di 33 centimetri di diametro circa, fissati verticalmente in due cornici di ottone A e B (fig. 607).

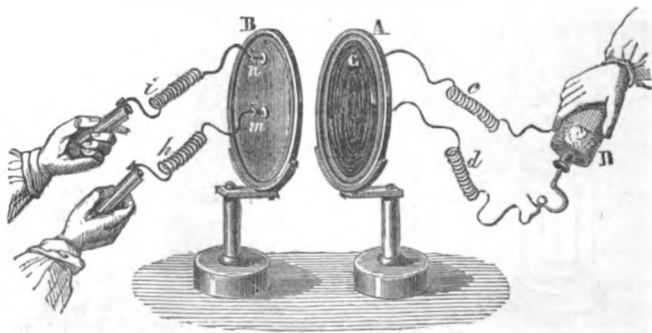



Fig. 607.

Questi dischi sono portati su piedi mobili, e possono avvicinarsi od allontanarsi a piacimento. Sulla faccia anteriore del disco A è ravvolto, a spirale, un filo di rame C, di un millimetro di diametro e di 25 a 30 metri di lunghezza. Le due estremità di questo filo passano attraverso al piatto, l'uno al centro, l'altro alla parte superiore, e terminano a due piccole morse simili a quelle che sono rappresentate in *m* e in *n* sul piatto B. In queste morse si impegnano due fili di rame ricoperti di seta *c* e *d*, che sono destinati a ricevere la corrente induttrice.

Sulla faccia del piatto B, che è posto di contro al piatto A, si ravvolge un filo di rame, esso pure in spirale, ma più fine che il filo C. Le sue estremità fanno capo alle morse *m* e *n*, che ricevono due fili *h* e *i*, destinati a trasmettere la corrente indotta. I due fili ravvolti sui piatti A e B sono non soltanto ricoperti di seta, ma ciascun circuito è isolato dal seguente da uno strato di vernice densa a gomma-lacca, condizione indispensabile per esperimentare colla elettricità delle macchine elettriche, la quale è sempre molto più difficile ad isolarsi di quella delle pile, a cagione della sua grande tensione.

Per dimostrare la produzione di una corrente indotta mediante la scarica di una bottiglia di Leyda, si fa comunicare, come mostra il disegno, uno dei capi del filo C coll'armatura esterna della bottiglia, e l'altra col bottone; all'istante in cui scocca la scintilla, l'elettricità che passa nel filo C agendo per influenza sul fluido neutro del filo ravvolto sul piatto B, si produce una corrente istantanea in questo filo. Infatti, una persona che tenga nelle mani due cilindri di rame in comunicazione coi fili *i* e *h*, riceve una commozione la cui intensità è tanto più forte, quanto più sono ravvicinati i piatti. Questa esperienza

mostra che l'elettricità delle macchine elettriche può, come quella della pila, dar luogo a correnti indotte.

L'apparato di Matteucci può anche servire a dimostrare l'induzione per la variazione di distanza o di intensità. Per ciò, si fanno comunicare i fili *c* e *d* coi poli di una pila, e i fili *i* e *h* con un galvanometro. Avvicinando allora od allontanando i piatti, il galvanometro accusa una corrente indotta sul piatto B.

747. **Induzione per le calamite.** — Si è veduto che l'influenza di una corrente, calamita una spranga di acciaio (732); reciprocamente, una calamita può far nascere, nei circuiti metallici, delle correnti di induzione. Faraday lo ha dimostrato mediante un rocchetto ad un solo filo di 200 a 300 metri di lunghezza. Le due estremità del filo, come mostra la figura 608, essendo poste in comunicazione con un galvanometro,

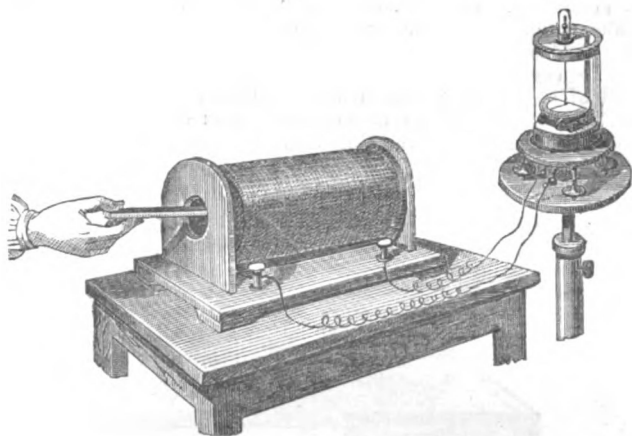



Fig. 608.

si introduce bruscamente nel rocchetto, che è cavo, una forte spranga calamitata e si osservano allora i fenomeni seguenti:

1.° Al momento in cui si introduce la spranga, il galvanometro indica, nel filo, una corrente indotta istantanea, inversa a quella che esiste intorno alla spranga, assomigliando questa ad un solenoido, come si è fatto nella teoria di Ampère (727).

2.° Tosto che si ritira la spranga, l'ago del galvanometro, che era ritornato allo zero, indica una corrente indotta diretta.

Si può anche constatare l'influenza induttrice delle calamite coll'esperienza seguente. Si dispone nel rocchetto ad un solo filo, una spranga di ferro dolce, e le si approssima bruscamente una forte calamita; l'ago del galvanometro è deviato, ritorna allo zero tosto che la calamita è fissa, e si devia in senso contrario quando si allontani. L'induzione è qui prodotta dalla calamitazione del ferro dolce, nell'interno del rocchetto, sotto l'influenza della spranga calamitata.

Si ottengono gli stessi effetti di induzione in un filo di una elettrocalamita, se, di contro le estremità di questa, si fa girare rapidamente

una spranga fortemente calamitata, in modo che i suoi poli agiscano successivamente per influenza sulle due branche dell'elettro-calamita; od anche, formando due rocchetti attorno di una calamita a ferro di cavallo, e facendo passare una lamina di ferro dolce con rapidità davanti ai poli della calamita; il ferro dolce, calamitandosi per influenza, reagisce sulla calamita, e ne risultano, nel filo, delle correnti indotte, successivamente di senso contrario.

L'induzione per mezzo delle calamite è una chiara conferma della teoria di Ampère sul magnetismo (727). Infatti, in questa teoria, le calamite essendo veri solenoidi, tutte le esperienze che sono state accennate si spiegano per l'induzione delle correnti che percorrono la superficie delle calamite. In una parola, l'induzione colle calamite è ancora un'induzione colle correnti.

748. **Induzione colle calamite nei corpi in movimento.** — Arago osservò, pel primo, nel 1824, che il numero delle oscillazioni che fa un ago calamitato, in tempi eguali, quando lo si devia dalla sua posizione di equilibrio, è diminuito di molto dalla vicinanza di certe masse metalliche e segnatamente del rame, che può ridurre il numero delle oscillazioni da 300 a 4. Questa osservazione condusse lo stesso fisico, nel 1825, ad un fatto non meno inaspettato: quello della azione rotatoria che una lamina di rame in movimento esercita su un ago magnetizzato.

Si constata questo fenomeno mediante l'apparecchio rappresentato dalla figura 609. Si compone di un disco metallico M, mobile attorno

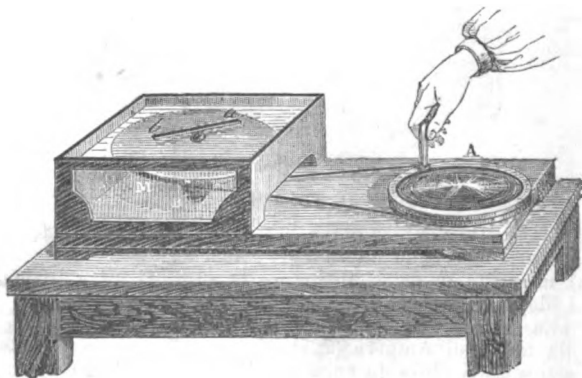



Fig. 609.

ad un asse verticale. Su quest'asse trovasi una puleggia B, attorno alla quale gira un cordone continuo che va a passare su di una puleggia più grande A. Facendo girare questa colla mano, si può imprimere al disco M un movimento di rotazione rapidissimo. Al disopra del disco trovasi una cassa di vetro fissa, alla quale è adattato un piccolo pernio che porta un ago magnetizzato *ab*. Ora se il disco prende un movimento lento ed uniforme, l'ago è deviato nel senso del movimento e si arresta a 20 o 30 gradi dal meridiano magnetico, secondo la velocità

di rotazione del disco. Ma se questa velocità aumenta, l'ago finisce per essere deviato di più di 90 gradi: allora esso è trascinato, descrive una rivoluzione intera e segue il movimento del disco fino a che si arresti.

L'effetto diminuisce colla distanza dell'ago dal disco, e varia molto colla natura di questo. Il massimo di effetto ha luogo coi metalli; col legno, col vetro, coll'acqua, ecc., è nullo. Babbage e Herschel, in Inghilterra, hanno trovato che rappresentando con 100 l'azione di una calamita su di un disco di rame, questa azione, sugli altri metalli, è rappresentata dai numeri seguenti: zinco, 95; stagno, 46; piombo, 25; antimonio, 9; bismuto, 2. Finalmente, l'effetto è reso debolissimo se il disco presenta soluzioni di continuità, specialmente nel senso de' suoi raggi; ma gli stessi fisici hanno constatato che riprende sensibilmente la stessa intensità se si saldano le soluzioni di continuità con un metallo qualunque.

Arago ha riconosciuto che la forza che imprime all'ago il suo movimento di rotazione è la risultante di tre altre forze: l'una perpendicolare al piano del disco, e agente per ripulsione sull'ago; la seconda diretta nel senso del raggio del disco e agente dapprima per ripulsione sull'ago partendo dalla circonferenza del disco, poi decrescente approssimandosi al centro, per mutarsi in forza attrattiva approssimandosi sempre più a questo punto e divenir nulla in esso; finalmente la terza forza parallela al piano del disco, è perpendicolare, in ciascun punto al raggio, e la sua azione è attrattiva; dunque è quest' ultima che fa girare l'ago. Arago non scoperse punto l'origine di queste diverse forze; Faraday, pel primo, nel 1832, ha mostrato, mediante il galvanometro, che esse erano dovute a correnti di induzione sviluppate nei dischi dall' influenza dell' ago magnetizzato (764).

749. **Induzione per l' azione della terra.** — Faraday ha riconosciuto, pel primo, che il magnetismo terrestre può sviluppare delle correnti indotte nei corpi metallici in movimento, agendo come una potente calamita posta nell'interno del globo, nella direzione dell'ago di inclinazione, o piuttosto, conformemente alla teoria di Ampère, come un circuito di correnti elettriche dirette dall' est all' ovest parallelamente all'equatore magnetico. Constatò il fatto disponendo una lunga elice di filo di rame ricoperto di seta nel piano del meridiano magnetico, parallelamente all'ago di inclinazione; facendo girare quest'elice di 180 gradi attorno di un asse che la attraversava nel suo mezzo, osservò che a ciascuna semirivoluzione, un galvanometro in comunicazione coi due capi dell'elice era deviato.

Per dimostrare le correnti indotte sviluppate dall'azione della terra, Delezenne ha costrutto l'apparecchio rappresentato nella figura 610, il quale è conosciuto sotto il nome di *cerchio di Delezenne.* Esso si compone di un cerchio di legno RS, di quasi un metro di diametro fissato ad un asse *oi*, al quale si può imprimere un movimento di rotazione più o meno rapido, mediante una manovella M. L'asse *oi* è portato da un telaio PQ, mobile esso pure attorno ad un asse orizzontale. Mediante aghi fissati a questi due assi, un primo circolo graduato *b* indica l'obbliquità del telaio PQ, e, di conseguenza, dell'asse *oi* riguardo all'orizzonte, e un secondo circolo graduato *c* segna lo spostamento angolare impresso al cerchio. Attorno di quest'ultimo si ravvolge ad elice un filo di rame ricoperto di seta, i di cui due capi giungono ai due anelli metallici di un *commutatore a* analogo a quello che sarà descritto più avanti nell'apparecchio di Clarke, il cui uso è di ridurre

la corrente ad essere sempre dello stesso senso, quantunque la sua direzione cangi a ciascuna semi-rivoluzione del cerchio. Finalmente, su ciascuno degli anelli del commutatore, si appoggiano due lamine di ottone che trasmettono successivamente la corrente a due fili in comunicazione con un galvanometro.

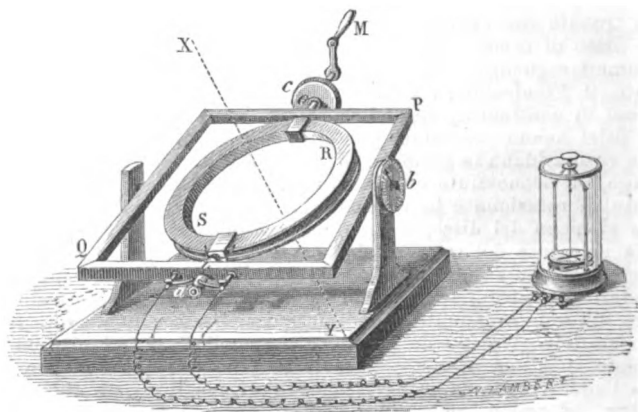



Fig. 610.

L'asse *oi* essendo nel meridiano magnetico, e il cerchio RS perpendicolare alla direzione XY dell'ago di inclinazione, se gli si imprime un movimento di rotazione lento, l'ago del galvanometro è deviato, e coll'angolo della sua deviazione indica, nell'elice che circonda il cerchio, una corrente indotta la cui intensità aumenta fino a che abbia girato di 90 gradi; poi la deviazione decresce e diventa nulla quando il cerchio ha fatto una semirivoluzione. Se il movimento di rotazione continua, la corrente ricomincia, ma in senso contrario, raggiunge un secondo massimo a 270 gradi e diventa nulla di nuovo dopo un giro completo. Nel secondo caso l'asse *oi* è parallelo all'ago di inclinazione, e non si produce corrente.

750. **Induzione di una corrente su sè stessa, estracorrente.** — Quando si apre un circuito chiuso percorso da una corrente voltiana, non si ottiene che una scintilla appena sensibile, se il filo che riunisce i due poli è corto. Di più, se si fa parte del circuito tenendo in ciascuna mano un elettrodo, non si risente alcuna commozione, a meno che la corrente non sia intensissima. Al contrario, se il filo è lungo, e soprattutto se esso è ravvolto un gran numero di volte su sè stesso, in modo da formare un rocchetto a spire serrate, la scintilla, che è nulla alla chiusura della corrente, acquista, quando si apre, una grande intensità, e se si è posti nel circuito, si riceve allora una commozione tanto più forte, quanto più il numero delle spire è maggiore.

Faraday ha spiegato questo rinvigorimento della corrente al momento della rottura per un'azione induttrice che la corrente, in ciascuna spira, esercita sulle spire vicine; azione in virtù della quale si produce, in tutto il rocchetto, una corrente indotta diretta, vale a dire di egual

senso della corrente principale. Questa corrente indotta si designa col nome di *estracorrente*.

Per constatare l' esistenza dell' *estracorrente* al momento dell' apertura, Faraday ha disposto l'esperienza come mostra la figura 611. Dai poli di una pila partono due fili di rame che si uniscono a due viti di

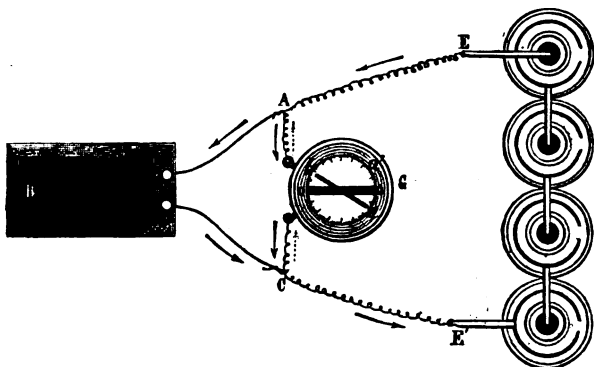



Fig. 611.

pressione D e F, alle quali fanno capo gli estremi di un rocchetto a sottil filo B. Sulla lunghezza dei fili, dai punti A e C partono due altri fili che si congiungono con un galvanometro G. Di conseguenza, la corrente partita dal polo E si biforca in A in due correnti, l' una che traversa il galvanometro, l'altra il rocchetto, per ritornare tutte e due al polo negativo E'.

L'ago del galvanometro essendo allora deviato dalla corrente che va da A in C, si riconduce allo zero e vi si mantiene con un ostacolo che gli impedisca di girare nel senso G*a*, ma lo lasci libero nel senso opposto. Ora, rompendo la comunicazione in E, si osserva che all'istante in cui il circuito è aperto, l'ago è deviato nel senso G*a'*; ciò che indica una corrente contraria a quella che aveva luogo durante la chiusura della corrente, e andante per conseguenza da C verso A. Ma la corrente della pila avendo cessato, il solo circuito chiuso che persista è il circuito AFBDCA, e poichè, nella parte CA, una corrente va da C in A, bisogna dunque che percorra tutto il circuito nel senso AFBDC, vale a dire nello stesso senso della corrente principale. Questa corrente, che si mostra così al momento dell'apertura del circuito, è l'*estracorrente*.

751. **Estracorrente di apertura e estracorrente di chiusura.** — Non è soltanto al momento in cui la corrente finisce che le spire reagiscono le une sulle altre, dando luogo ad una corrente indotta; ciò accade anche quando si chiude il circuito della corrente; solamente, in questo caso, secondo la legge generale dell'induzione (743), la corrente che si sviluppa è inversa, vale a dire di senso contrario alla corrente principale. Da ciò due *estracorrenti*: l'*estracorrente di chiusura*, o *estracorrente inversa*, e l'*estracorrente di apertura*, o *estracorrente diretta*.

Quest'ultima corrente, essendo dello stesso senso della corrente principale, si aggiunge ad essa e aumenta la scintilla di rottura; al contrario l'estracorrente inversa, essendo di senso contrario a quello della corrente principale, ne diminuisce la intensità e indebolisce od annulla la scintilla al momento della chiusura. È dunque soltanto alla rottura che l'estracorrente, combinata colla corrente principale, può dare effetti potenti.

Per raccogliere l'estracorrente diretta, si salda a ciascuna estremità del filo di un rocchetto semplice, vale a dire ad un filo solo, un'appendice metallica, per esempio, una lastra di rame, e si tiene una lamina in ciascuna mano, o si fanno comunicare fra loro per il conduttore che si vuol sottomettere all'estracorrente, quest'ultima producendosi a ciascuna interruzione della corrente che passa nel filo del rocchetto. Si trova così che l'estracorrente diretta dà violenti scosse, vive scintille, decompone l'acqua, fonde il platino e fa deviare l'ago magnetico. Abria che ha fatto numerose ricerche sulle correnti di induzione, ha trovato che l'intensità dell'estracorrente eguaglia 0,72 circa di quella della corrente principale.

Gli effetti suddetti acquistano una intensità maggiore, se si introduce nel rocchetto una spranga di ferro dolce, o, ciò che val lo stesso, se si fa passare la corrente nei rocchetti di una elettro-calamita. È anche questo un fenomeno di induzione dovuto alla magnetizzazione del ferro dolce nell'interno del rocchetto (747). Infatti, a ciascuna smagnetizzazione del ferro, le correnti d'Ampère svolte alla superficie reagiscono sul rocchetto e vi fanno nascere una corrente di egual senso dell'estracorrente.

In ciò che precede, gli effetti delle due estracorrenti si sovrappongono a quelli della corrente principale. Ora, uno scienziato svedese, Edlund, ha tolta questa difficoltà con una disposizione di apparecchio che permette di annullare completamente l'azione della corrente principale sugli strumenti di misurazione, e non lascia sussistere che quella dell'estracorrente. Esperimentando così, Edlund è giunto alle due leggi seguenti:

1.ª *Ciascuna delle estracorrenti è proporzionale alla intensità della corrente induttrice.*

2.ª *L'estracorrente diretta è sempre un po' più debole dell'estracorrente inversa.* Ciò che si spiega osservando che al momento in cui si interrompe il circuito dopo di averlo lasciato chiuso qualche tempo, la corrente principale è indebolita dalla polarizzazione che si produce sempre più o meno nella pila (677); da cui risulta che la corrente induttrice è più debole al momento dell'interruzione che non al momento della chiusura. Altrimenti, Edlund ammette che le due estracorrenti sono eguali, almeno in quanto alle quantità totali di elettricità che fanno passare in una stessa sezione del filo; ma quanto alle azioni magnetiche o fisiologiche, le due correnti differiscono. Infatti, dietro le ricerche di Rijke, l'estracorrente inversa possiede, in questo caso, una maggiore intensità e una minor durata dell'estracorrente diretta (*Annali di chimica e di fisica*, 1858, tom. LIII, pag. 59).

In tutto ciò che precede, la corrente induttrice ha agito costantemente su un circuito chiuso. Ora, quando si agisce su di un circuito aperto, v'ha ancora induzione. Tuttavia esso non si manifesta più allora con correnti, ma solamente per una accumulazione di elettricità con-

trarie alle due estremità del circuito: accumulazione dalla quale risulta una serie di scintille quando i due estremi del circuito sono abbastanza ravvicinati. In modo che, per la loro forte tensione, la loro istantaneità, i loro effetti luminosi, i fenomeni che appariscono allora sembrano piuttosto del dominio della elettricità statica che non di quello dell'elettricità voltiana.

Dopo di aver fatti conoscere gli apparecchi fondati sulle correnti di induzione, ritorneremo più avanti (764) sulla intensità di queste correnti.

752. **Correnti indotte di diversi ordini.** — Malgrado la loro istantaneità, le correnti indotte possono esse stesse, colla loro influenza su circuiti chiusi, dar origine a nuove correnti indotte, e queste ad altre, e così di seguito, in modo da produrre delle *correnti indotte di diversi ordini.*

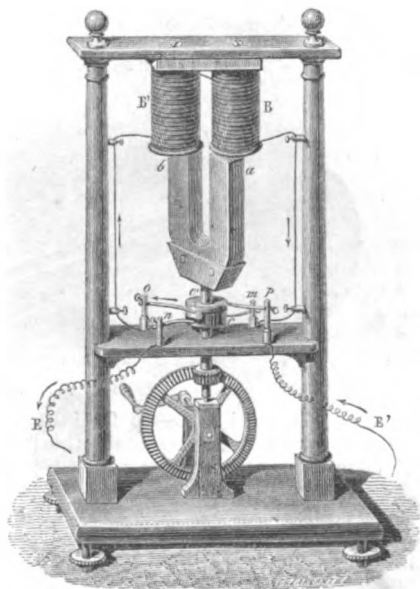
Queste correnti scoperte da Henri, a New-Jersey, si constatano facendo reagire gli uni sugli altri una serie di rocchetti formati ciascuno da un filo di rame ricoperto di seta e contorto su sè stesso in spirale in uno stesso piano, come quello che è rappresentato sul piatto A, nella figura 607. Si osserva che le correnti che si producono allora nei rocchetti sono alternativamente di senso contrario, e che la loro intensità decresce a misura che sono di un ordine più elevato.

MACCHINE MAGNETO-ELETTRICHE

753. **Apparecchio di Pixii.** — Si dà il nome di *macchine magneto-elettriche* a degli apparecchi nei quali si utilizza l'induzione prodotta dalle calamite (747) per ottenere delle correnti indotte potenti, riproducendo tutti gli effetti delle correnti voltiane. La prima macchina di questo genere fu costrutta da Pixii figlio nel 1832.

Fig. 612

Questo apparecchio si compone di una elettro-calamita fissa BB', portata da due colonne di legno (fig. 612). Al disotto trovasi un fascio magnetico a ferro di cavallo, portato da un asse verticale, al quale si imprime un movimento di rotazione, più o meno rapida, mediante due ruote d'angolo e di una manovella. I poli *a* e *b* del fascio, radendo allora il ferro dolce dei rocchetti B,B', lo calamitano per influenza in senso contrario successivamente. Ora, il ferro dolce, a ciascuna magnetizzazione e a ciascuna smagnetizzazione, fa nascere nel filo dei rocchetti delle correnti indotte che si propa-

gano nei fili paralleli alle colonne, giungono ad un commutatore *cc'*, e di là giungono ai fili E,E'. Si vedrà tosto (754) che durante una rivoluzione completa del fascio magnetico, si producono in realtà due correnti di senso opposto, ma che per effetto del commutatore *cc'*, la corrente è sempre ricondotta ad essere dello stesso senso nei due fili E,E'.

Quanto alla teoria di queste correnti, siccome essa è identicamente la stessa di quella delle correnti che si ottengono nell'apparecchio di Clarke, rimandiamo a ciò che stiamo per dire di questo apparecchio, il solo in uso al giorno d'oggi.

754. **Apparecchio di Clarke.** — Clarke, a Londra, ha costrutto un apparecchio che è una modificazione di quello di Pixii. Questo apparecchio si compone di un fascio calamitato A (fig. 613), potentissimo, ricurvo a ferro di cavallo, e applicato verticalmente lungo una tavoletta

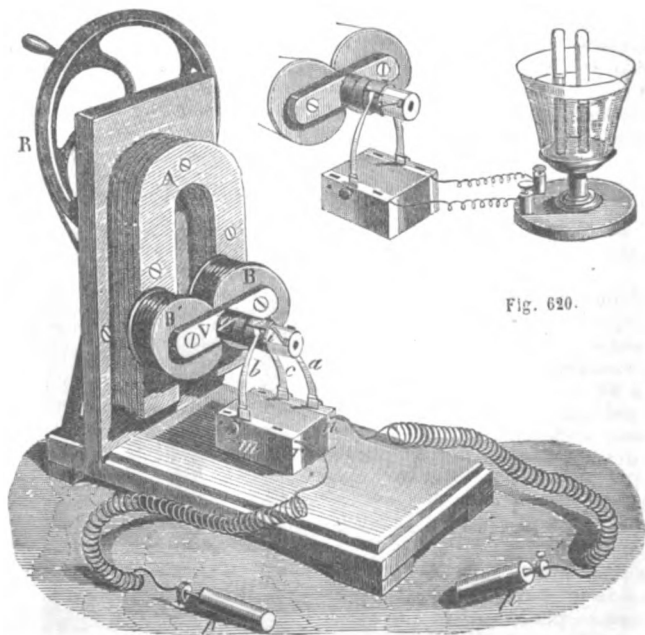



Fig. 613 (a. = 50).

di legno. Davanti a questo fascio trovansi due rocchetti B,B', mobili attorno ad un asse orizzontale. Questi rocchetti contengono due cilindri di ferro dolce, riuniti per una estremità ad una grossa lamina V essa pure di ferro dolce, e all'altra estremità, di contro al fascio, da una lamina di ottone. La prima lamina è fissata ad un asse di rame che porta un commutatore *qo*, e alla lamina di ottone è fissato un asse portante, dietro la tavoletta, una puleggia alla quale si trasmette il movimento mediante una corda senza fine e di una gran ruota R mossa da una manovella.

Ciascun rocchetto è formato da un filo di rame distinto, finissimo, ricoperto di seta e facente fino a 1500 giri. Una estremità del filo del rocchetto B si riunisce, sull'asse *k* (fig. 619), ad una estremità del filo del rocchetto B', e le altre due estremità terminano ad una viera di rame *q*, che è fissa all'asse, ma che ne è isolata con un inviluppo cilindrico di avorio. Si ha cura che nelle estremità che si riuniscono, la corrente indotta sia di egual senso, ciò che si ottiene ravvolgendo i fili in senso contrario sui due rocchetti; vale a dire che uno sia *destrorsum* e l'altro *sinistrorsum*.

Quando i rocchetti girano, il ferro dolce sul quale ciascuno agisce, si magnetizza alternativamente in senso contrario sotto l'influenza dei poli della calamita, e in ciascun filo si produce una corrente indotta che cangia di direzione a ciascuna semi-rivoluzione. Infatti, consideriamo uno dei rocchetti, B per esempio, mentre esso effettua una rivoluzione completa davanti ai poli del fascio magnetico, convenendo di rappresentare con *a* e *b* i poli di quest'ultimo, e con *a'* e *b'* quelli che prende successivamente l'estremità del ferro dolce del rocchetto. Di più, consideriamo quest'ultimo al momento in cui esso viene a passare davanti al polo australe *a* del fascio (fig. 614). Il ferro possiede allora un polo

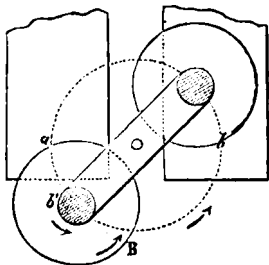



Fig. 614. Fig. 615.

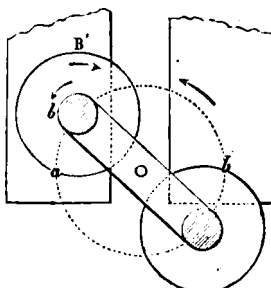
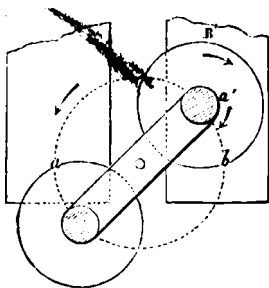
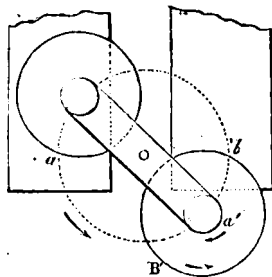



Fig. 616. Fig. 617.

boreale, nel quale si sa che le correnti di Ampère (727) sono dirette nel senso degli aghi di un orologio. È il contrario che sembra indicato dalla freccia *b'*; ma si osservi che noi supponiamo i rocchetti veduti qui come lo sono nella figura 613, e che sarebbe riguardandoli per l'e-

stremità radente la calamita che le correnti di Ampère sembrerebbero girare nel senso degli aghi di un orologio. Ciò posto, queste correnti agiscono per induzione sul filo del rocchetto per farvi nascere una corrente dello stesso senso; giacchè il rocchetto allontanandosi dal polo *a*, il suo ferro dolce si smagnetizza, e le correnti d'Ampère cessano (745, 4.ª). L'intensità della corrente indotta nel rocchetto va dunque decrescendo fino a che la retta che congiunge gli assi dei due rocchetti sia perpendicolare a quella che unisce i poli *a* o *b* del fascio. A questo momento il magnetismo è nullo nel ferro dolce; ma tosto, approssimandosi al polo *b*, il suo ferro dolce si calamita in senso contrario ed assume attualmente un polo australe (fig. 615). Ora, le correnti d'Ampère sono allora dirette nel senso della freccia *a'*; e appena cominciano, esse sviluppano nel filo del rocchetto una corrente inversa (745, 5.ª), la quale si trova essere dello stesso senso di quella che è svolta nel primo quarto di rivoluzione. Di più, questa seconda corrente sovrapponesi alla prima, poichè nello stesso tempo che il rocchetto si allontana da *a*, esso si approssima a *b*. Insomma, durante una semi-rivoluzione inferiore da *a* in *b*, il filo del rocchetto è stato successivamente percorso da due correnti indotte dello stesso senso; e se il movimento di rotazione è sufficientemente rapido, si potrà durante questa semi-rivoluzione ammettere una corrente unica nel filo.

Un ragionamento identico applicato alla figura 616 e 617 farà vedere che durante la semi-circolazione superiore, il filo del rocchetto B è ancora percorso da una sola corrente, ma di direzione contraria a quella

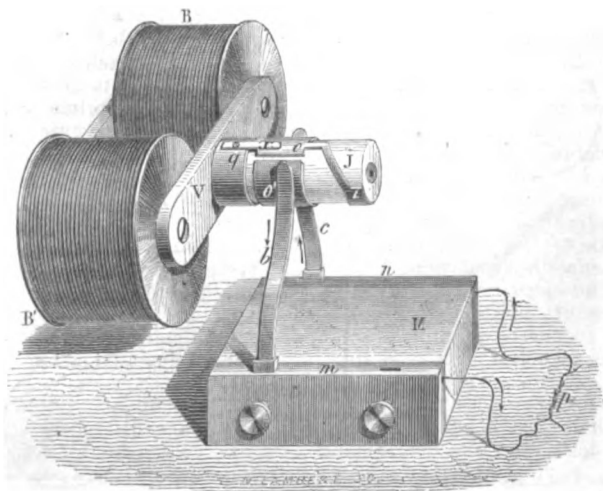



Fig. 618.

della corrente durante la semi-rivoluzione inferiore. D'altronde, tutto ciò che è stato detto del rocchetto B si applica evidentemente al rocchetto B'. Tuttavia, i rocchetti essendo uno *destrorsum*, l'altro *sini-*

strorsum, è da osservarsi che durante ciascuna semi-rivoluzione inferiore o superiore, le correnti sono costantemente di egual senso nei due rocchetti. Alla semi-rivoluzione seguente, esse cangiano tutte due, ma sono ancora nello stesso senso l'una per riguardo all'altra.

Commutatore. — Si chiama così un sistema di pezzi mediante i quali si riconducono ad essere sempre di egual senso, nelle lamine *b* e *c* (fig. 613), le correnti alternative che si sviluppano nei rocchetti. Le figure 618 e 619 danno in dimensione maggiore, l'una una veduta in prospettiva,

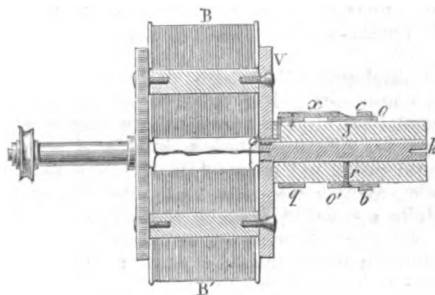



Fig. 619.

l'altra una sezione orizzontale del commutatore di Clarke. Esso si compone di un cilindro isolante di avorio o di bosso J, nell'asse del quale trovasi un cilindro di rame *k* di minor diametro, fissato all'armatura V e girante coi rocchetti. Sul cilindro di avorio è dapprima una viera d'ottone *q*; poi, più avanti, due semi-viere *o*, *o'*, esse pure di ottone e completamente isolate l'una dall'altra. La semi-viera *o'* è in comunicazione coll'asse *k* con una vite *r* (fig. 619), e la semi-viera *o* lo è colla viera *q* mediante una linguetta *x* che le unisce. Finalmente, sulle facce laterali di un pezzo riquadrato di legno M, trovansi due lamine di ottone *m*, *n*, sulle quali sono mantenute con viti di pressione due lamine metalliche elastiche *b* e *c*, che si appoggiano successivamente sulle semi-viere *o* e *o'* quando la rotazione ha luogo.

Conosciuti questi dettagli, si è già detto che le due estremità dei fili dei rocchetti, quelli dello stesso senso, terminano all'asse metallico *k* e, di conseguenza, alla semi-viera *o'*; mentre i due altri estremi, ancora dello stesso senso fra loro, si riuniscono alla viera *q*, e, per conseguenza, alla semi-viera *o*. Finalmente, i pezzi *o*, *o'*, sono dunque costantemente i poli delle correnti alternative che si sviluppano nei rocchetti, e siccome questi sono alternativamente di senso contrario, si vede che i pezzi *o*, *o'* sono alternativamente positivi e negativi. Ora, se si considera, per esempio, il caso in cui la semi-viera *o'* è positiva, la corrente discende per la lamina *b*, segue la lamina *m*, giunge in *n* per il filo congiuntivo *p*, ascende in *c*, e si chiude al contatto del pezzo *o*; poi, quando, per l'effetto della rotazione, *o* prende il posto di *o'*, la corrente conserva la stessa direzione, giacchè, siccome è allora rovesciata nei rocchetti, *o* è divenuto positivo e *o'* negativo; e così di seguito tutto il tempo che si fa girare i rocchetti.

Colle due lamine *b* e *c* sole, le due correnti contrarie che partono dalle semi-viere *o* e *o'* non potrebbero riunirsi. Per chiudere il circuito, bisogna far comunicare i due pezzi *m* ed *n* fra loro, mediante di un conduttore qualunque. Si può chiudere il circuito mediante una terza lamina *a* (fig. 613) e di due appendici *i*, dei quali uno solo è visibile sulla figura. Queste due appendici sono isolate l'una dall'altra sul cilindro d'avorio, ma comunicano rispettivamente coi pezzi *o*, *o'*. Tutte le volte che la lamina *a* tocca una di queste appendici, essa è in comunicazione colla lamina opposta *b*, e la corrente è chiusa; giacchè passa da *b* in *a*, poi raggiunge la lamina *c* per la lamina *n*. Al contrario, finchè la lamina *a* non tocca una delle appendici, la corrente è interrotta.

Per gli effetti fisiologici, l'impiego della lamina *a* accresce molto l'intensità delle commozioni. Per ciò si fissano in *n* e in *m* due lunghi fili di rame ravvolti ad elice e terminati da due cilindri *p* e *p'*, che si prendono in mano. Allora, finchè la lamina *a* non tocca le appendici *i*, la corrente passa nel corpo dell'esperimentatore, ma senza effetto apprezzabile; mentre ciascuna volta che la lamina *a* è in contatto con una delle appendici *i*, la corrente, come si è veduto di sopra, si trova chiusa dai pezzi *b*, *a*, *c*, e, cessando allora di passare nei fili *np*, *mp'*, si produce in quest'ultimi e attraverso il corpo un'estracorrente diretta, che fa provare una violenta commozione. Questa si rinnova a ciascuna semi-rivoluzione dell'elettro-calamita, e siccome l'intensità delle correnti indotte è in ragione inversa della loro durata (764), quanto più velocemente si fanno girare i rocchetti, più le commozioni sono forti; fino ad un certo limite però, ciò che dipende senza dubbio che con una grande velocità i contatti non sono sufficientemente stabiliti. Di più, i muscoli si contraggono con tal forza, che rifiutano di obbedire alla volontà, sì che non si ponno più abbandonare le impugnature. Con un apparecchio ben costrutto e di grandi dimensioni, non si può resistere alla durata della scossa; colui che vuol persistere è rovesciato, si rotola sul suolo e cede bentosto al dolore.

Fig. 621.

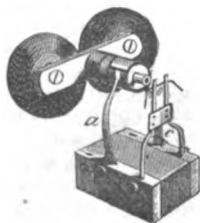



Fig. 622.

Coll'apparato di Clarke si fanno produrre alle correnti di indusione tutti gli effetti chimici e fisici delle correnti voltiane. La figura 620 (pag. 642) mostra come si disponga l'esperienza per la decomposizione dell'acqua. La lamina *a*, è allora soppressa, la corrente trovandosi chiusa dall'acqua nella quale fanno capo i due fili che rappresentano gli elettrodi.

Per gli effetti fisiologi e chimici il filo ravvolto sui rocchetti è sottile e di una lunghezza di 500 a 600 metri per ciascuno. Per gli effetti fisici, al contrario, il filo è grosso e di una lunghezza di 25 a 30 metri su ciascun rocchetto. Le figure 621 e 622 mostrano la forma che si dà allora ai rocchetti ed al commutatore. La prima rappresenta l'infiammazione dell'etere, e la seconda l'incandescenza di un filo metallico *o* nel quale passa, sempre nello stesso senso, la corrente andando dalla lamina *a* alla lamina *c*.

755. **Macchina magneto-elettrica di Nollet.** — Il principio dell'apparecchio di Clarke ha ricevuto, in questi ultimi anni, una rimarchevole applicazione nella *macchina magneto-elettrica di Nollet.* Questa macchina fu inventata, nel 1850, da Nollet, professore di fisica alla scuola militare di Brusselle, e discendente dalla famiglia dell'abbate Nollet, professore di fisica a Parigi, un secolo fa. Nollet erasi proposto di applicare le correnti elettriche, ottenute dalla sua macchina, alla decomposizione dell'acqua, per utilizzare in seguito, nell'illuminazione, il gaz idrogeno proveniente da questa decomposizione; ma il successo non rispose alla sua aspettativa e ne morì di dispiacere. Per fortuna, egli lasciò, morendo, la sua macchina ad un uomo intelligente, Giuseppe Van Malderen, il quale, non solo la perfezionò, ma concepì la felice idea di applicarla all'illuminazione elettrica.

Questa macchina, al giorno d'oggi di proprietà della Compagnia dell'*Alliance,* è rappresentata nella figura 623, tale e quale funziona in un opificio degli Invalidi, dove è stata costrutta. Essa consiste in un'armatura di ghisa di $1^m,65$ di altezza; sul contorno di questa armatura sono disposti parallelamente, su delle traverse di legno, 8 serie di cinque fascetti calamitati potentemente A, A, A.... Questi fascetti, che possono portare ciascuno da 60 a 70 chilogrammi, sono piegati a ferro di cavallo e disposti in modo che, sia che si considerino parallelamente all'asse dell'armatura, sia in un piano perpendicolare a questo asse, sono sempre i poli di nome contrario che trovansi di faccia. In ogni serie, i fascetti estremi sono composti di 3 lastre calamitate, mentre i tre fascetti intermediari sono di 6 lastre, perchè agiscono per le due loro facce, mentre che i primi non agiscono che per una sola.

Ciò posto, sopra un asse orizzontale di ferro, che va da un'estremità all'altra dell'armatura, sono fissati quattro cilindri di bronzo, corrispondenti ciascuno agli intervalli vuoti tra i fascetti calamitati di due serie verticali. Questi cilindri portano, sulla loro circonferenza, ciascuno 16 rocchetti, vale a dire tanti quanti sono i poli magnetici in una serie verticale di fascetti. Questi rocchetti, rappresentati nella figura 625, differiscono da quelli dell'apparecchio di Clarke; in fatti, essi non sono ad un solo filo, ma a 12 fili, ciascuno di $10^m,50$, ciò che fa guadagnare in quantità e diminuisce la resistenza. Le spire di questi rocchetti sono isolate con del bitume di Giudea disciolto nell'essenza di trementina. Finalmente, esse non sono ravvolte su due cilindri di ferro massiccio, ma rispettivamente su due tubi di ferro cavi, fessi in tutta la loro lunghezza; ciò che rende la calamitazione e la scalamitazione più pronta di quando i rocchetti passano davanti ai poli delle calamite. Di più, i dischi di rame che terminano i rocchetti sono tagliati nel senso del loro raggio, affine d'impedire la produzione di correnti indotte in questi dischi (748). I quattro cilindri essendo muniti rispettivamente di 16 rocchetti, danno in tutto 64 rocchetti disposti in 16 serie oriz-

zontali di 4, come vedesi in D, alla sinistra dell'armatura. La lunghezza dei fili sopra un rocchetto essendo di 12 volte $10^m,50$ o 126^m, la loro lunghezza totale, in tutto l'apparecchio, è di 64 volte 126^m, o 8064^m.

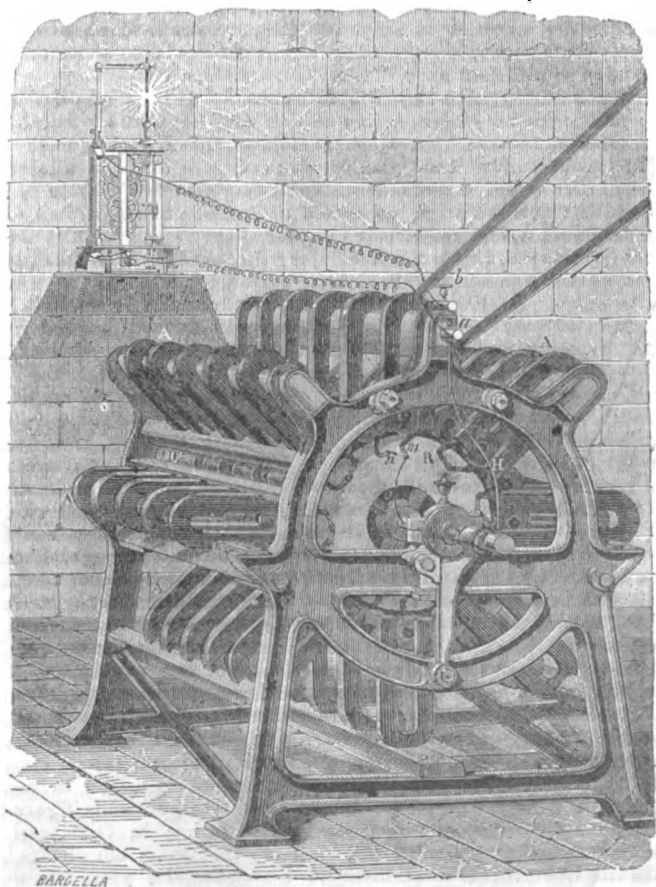



Fig. 623 (a. = $1^m,63$).

Su tutti i rocchetti, i fili sono ravvolti nello stesso senso, e non solo su di uno stesso cilindro, ma sui quattro, tutti questi fili comunicano fra di loro. Per ciò, i rocchetti sono uniti fra di loro come lo mostra la figura 624: sul primo cilindro, i dodici fili del primo rocchetto x metton capo su di una tavoletta d'acaiù applicata sulla faccia anteriore del cilindro, ad una lastra di rame m, comunicante mercè un filo O colla parte centrale dell'asse che porta i cilindri. Dall'altra estremità, sulla seconda

faccia del cilindro, gli stessi fili vanno a saldarsi ad una lastra figurata per mezzo di un filo sottile che li lega al rocchetto *y*; da questi sono condotti poscia al rocchetto *z* per una lamina *i*, e così di seguito

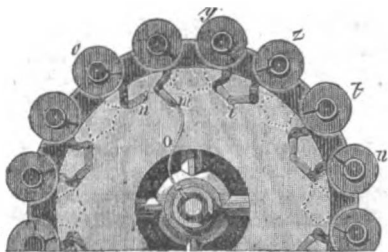



Fig. 624.

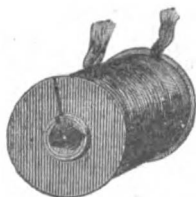



Fig. 625.

pei rocchetti *t*, *u*,... sino all'ultimo *v*. Là, i fili di questo rocchetto finiscono ad una lamina *n* che attraversa il primo cilindro e va a saldarsi ai fili del primo rocchetto del cilindro seguente, sul quale riproducesi la stessa serie di comunicazione; i fili rendonsi poscia al terzo cilindro, da questo al quarto, e finalmente all'estremità posteriore dell'asse.

Riassumendo, per essere i rocchetti così disposti gli uni in seguito agli altri come gli elementi di una pila montata in serie (686), si ha l'*elettricità di tensione*. Se invece vuolsi ottenere l'*elettricità di quantità*, si fanno comunicare alternativamente le lamine qui sopra, non più fra di loro, ma con due anelli metallici in modo che tutte le estremità dello stesso nome siano in rapporto collo stesso anello; ognuno di questi anelli è allora un polo.

Conoscendo questi particolari, è facile rendersi conto del come si produca e si propaghi l'elettricità nell'apparecchio. Una coreggia senza fine, ricevuto il suo moto da una macchina a vapore, si avvolge su di una carrucola fissata all'estremità dell'asse che porta i cilindri e i rocchetti, e imprime a tutto il sistema un movimento di rotazione più o meno rapido. L'esperienza ha insegnata che per ottenere il *maximum* di luce, la velocità più conveniente è quella di 235 rivoluzioni per minuto. Ora, durante questa rotazione, se si considera dapprima un rocchetto solo, i tubi di ferro dolce su i quali esso è ravvolto, passando fra i poli delle calamite, subiscono alle loro due estremità un'induzione opposta, gli effetti della quale si aggiungono, ma cambiano da un polo al seguente; e siccome questi tubi, durante una rivoluzione, passano successivamente davanti a 16 poli alternativamente di nome contrario, essi si magnetizzano otto volte in un senso ed otto volte in senso contrario. Nello stesso tempo producونsi dunque nel rocchetto otto correnti indotte dirette, ed otto correnti indotte inverse; in tutto 16 correnti per rivoluzione. Colla velocità di 235 giri per minuto, il numero delle correnti nello stesso tempo è di 235 volte 16, o 3760, alternativamente in senso contrario. Lo stesso fenomeno producesi in ciascuno dei 64 rocchetti; ma siccome i medesimi sono tutti involti nello stesso senso e comunicano fra loro, i loro effetti si sovrappongono e si ha sempre lo stesso numero di correnti, ma più intense.

Resta a raccogliere queste correnti per utilizzarle alla produzione di una luce elettrica intensa. Per ciò, si stabiliscono le comunicazioni, come vedesi nella figura 626. Posteriormente, l'ultimo rocchetto x' del

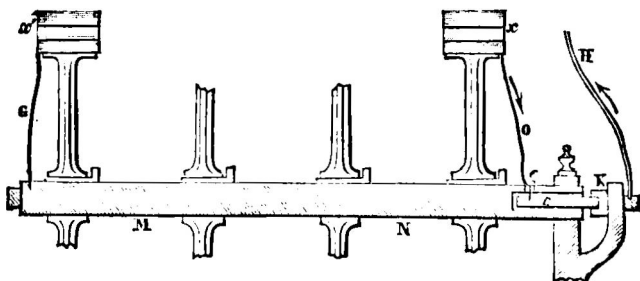



Fig. 626.

quarto cilindro si unisce per mezzo di un filo G, all'asse MN che porta i cilindri; la corrente è condotta così sull'asse e di là su tutta la macchina, dove si può in seguito raccoglierla in quel punto che si vuole. Anteriormente, il primo rocchetto x del primo cilindro comunica per un filo O, non più coll'asse stesso, ma con un cilindro d'acciaio *c* penetrante nell'asse da cui è isolato per un manico d'avorio. La vite *e*, che riceve il filo O, è essa stessa isolata mercè un contatto d'avorio. Dal cilindro *c* la corrente passa su di un pezzo metallico K che è fisso, da cui sale finalmente nel filo H che lo conduce al piuolo *a* della figura 623. In quanto al piuolo *b*, esso comunica con tutta l'armatura, e per conseguenza col filo dell'ultimo rocchetto x' (fig. 626). Dai due piuoli *a* e *b*, la corrente è condotta per due fili di rame a due carboni, la cui distanza è regolata da un regolatore che verrà descritto in appresso (756).

Nella macchina descritta, le correnti in senso contrario non sono raddrizzate; per conseguenza, ogni carbone è alternativamente positivo e negativo, ed in fatti essi consumansi egualmente presto. L'esperienza ha dimostrato che, finchè si applicano le correnti alla produzione della luce, non è necessario ricondurle ad ogni essere dello stesso senso; ma quando vuolsi utilizzarle per la galvanoplastica o la magnetizzazione, è indispensabile di raddrizzarle, ciò che si ottiene coll'aiuto di un commutatore.

La luce prodotta dalla macchina magneto-elettrica è molto intensa; con una macchina di quattro cilindri, montata in quantità, la luce ottenuta equivale a quella di 150 lampade Carcel. Con una macchina di sei cilindri, come quella che fu ora costrutta dalla Compagnia dell'*Alliance*, la luce potrà elevarsi sino a 200 lampade Carcel.

Questa luce, che non esige altra spesa da quella in fuori di un mezzo-cavallo-vapore circa per far girare i cilindri, quando non sono che in numero di quattro, sembra principalmente destinata all'illuminazione dei fari e a quella delle navi, onde prevenire le collisioni durante la notte.

756. **Regolatore della luce elettrica di Serrin.** — Questo nuovo regolatore, come quelli costrutti prima di lui, opera il riavvicinamento dei

carboni a misura che si consumano, ma il medesimo inoltre ne produce il scostamento quando essi sono a contatto. Mediante un sistema di ruote ad ingranaggio, il peso di uno de' suoi pezzi è quello che lo fa agire. Perciò, l'asta B, che porta il carbone positivo *c* e terminasi alla sua parte inferiore con una dentiera C (fig. 627), sale e discende con dolce sfregamento in un tubo H. Quando quest'asta si abbassa pel suo proprio peso, e con essa il carbone positivo, la dentiera C trasmette il movimento a una ruota dentata G, sull'asse della

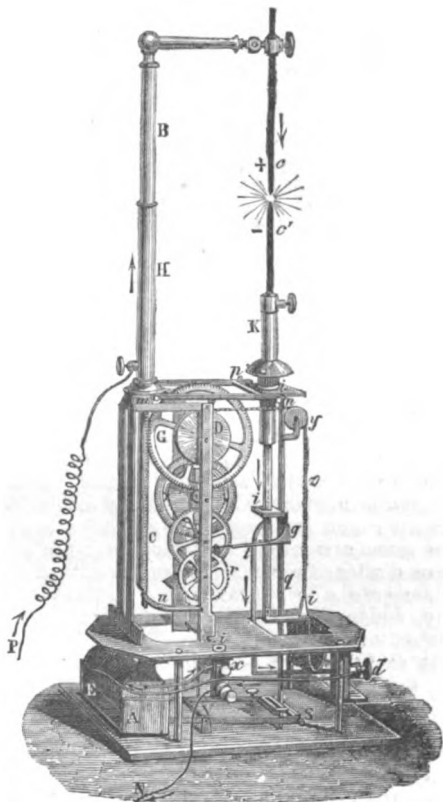



Fig. 627 (s. = 40).

quale è fissata una carrucola D. Questa carrucola, girando da destra a sinistra, ravvolge una catena *z*, che passa sopra una seconda carrucola *y* e va ad attaccarsi in *i* alla parte inferiore di un'asta rettangolare; questa sollevandosi fa innalzare il pezzo K che porta il carbone negativo *c'*; di modo che questo sale a misura che il carbone positivo

si abbassa. Nella figura 627, il diametro della carrucola D non è che la metà di quello della ruota G, d'onde risulta che il carbone positivo procede due volte più presto del carbone negativo; è il caso ordinario quando la corrente ha per origine una pila voltiana, perchè allora il carbone positivo si consuma due volte più rapidamente del carbone negativo. Ma colla macchina magneto-elettrica descritta qui sopra (755), ogni carbone consumandosi egualmente presto, la carrucola e la ruota devono essere dello stesso diametro.

Ecco ora in qual modo funziona il regolatore: i due carboni essendo a contatto, la corrente entra pel filo P, sale seguendo HB fino al carbone positivo; di là passa sul carbone negativo, sul pezzo K, e rendesi, nel senso delle frecce, fino al piuolo *d*, a destra dell'armatura inferiore, ma senza penetrare nel resto dell'apparecchio, tutti i pezzi nei quali passa la corrente essendo isolati da punti di contatto in avorio *i i i i*. Dal piuolo *d*, la corrente è condotta, per un filo di rame ricoperto di gutta-percha, ad un'elettro-calamita E, da cui esce per rendersi ad un piuolo *x* e ritornare finalmente alla pila del filo N.

Ciò posto, appena la corrente passa nell'elettro-calamita, un'armatura di ferro dolce A è sollevata, ed è la medesima che produce allora lo scostamento dei due carboni. Infatti, a quest'armatura è fissato un quadro di rame VS oscillante intorno ad un asse orizzontale V, e unita da una parte ad un'asta *q*, articolata in *n* ad un secondo quadro *mnp*, mobile esso stesso intorno ad un asse *m*. Ciò posto, quando l'armatura A è sollevata, essa imparte un movimento di altalena alla leva VS, e l'asta *q* abbassandosi, si produce lo scostamento dei due carboni; ma nello stesso tempo l'asta *q* trae seco nel suo moto di abbassamento un pezzo *g*, che termina con una lista orizzontale *t*. Ora, questa imboccando allora i denti di una ruota a rocchetto *r*, questa ruota si arresta e con essa tutte le ruote dentate e la dentiera C. I carboni dunque sono allora fissi, ciò che dura finchè la corrente conserva abbastanza d'intensità per tenere sollevata l'armatura A. Ora, consumandosi i carboni, il loro intervallo aumenta, la corrente s'indebolisce, l'armatura discende e la ruota *r* non imbocca più. I carboni procedono tosto l'uno verso l'altro, ma senza arrivare al contatto, perchè la corrente riprende prima abbastanza d'intensità per sollevare l'armatura e arrestare i carboni. Il ravvicinamento e lo scostamento sono dunque regolati dall'apparecchio istesso, donde il nome di *regolatore automatico* datogli a ragione dal suo inventore.

757. **Rocchetto di Ruhmkorff.** — Ruhmkorff ha costrutto per la prima volta, nel 1851, dei rocchetti a due fili, di grandissime dimensioni, per mezzo dei quali si ponno far produrre alle correnti di induzione, anche con uno o due elementi di Bunsen, taluni effetti fisici, chimici e fisiologici equivalenti ed anche superiori a quelli che danno le più potenti macchine elettriche.

I rocchetti costrutti primitivamente da Ruhmkorff erano disposti verticalmente. Al presente, li costruisce tutti orizzontali (fig. 628). Quanto alle dimensioni, esse sono variabili. Le maggiori che Ruhmkorff abbia costrutte fin qui hanno 65 centimetri di lunghezza e 24 di diametro. Il disegno della figura 628 è stato fatto dietro un rocchetto di 35 centimetri di lunghezza. Tutti questi rocchetti sono formati da due fili: uno grosso, di 2 millimetri di diametro, e uno sottile, di un terzo di millimetro. Questi fili, che sono di rame, sono anche non soltanto ri-

coperti di seta, ma ciascuna spira è isolata dalla seguente per uno strato di gomma-lacca fusa. È il grosso filo l'induttore, vale a dire quello in cui passa la corrente della pila; la sua lunghezza non è che di 3 a 4 metri. È il primo ravvolto sul cilindro cavo di legno o di cartone, che forma lo scheletro del rocchetto. Il tutto è racchiuso in

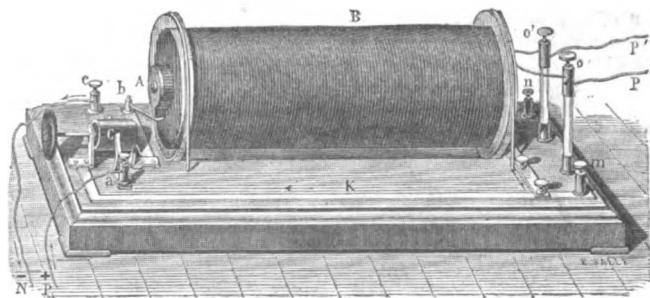



Fig. 628.

un manicotto di vetro o di caoutchouc isolante, ed è su questo involucro che si ravvolge il filo sottile che è il filo indotto, e la cui lunghezza varia colle dimensioni dei rocchetti. Nei grandi, il filo sottile ha fino 100 000 metri di lunghezza; il suo diametro è allora minore che non nei piccoli rocchetti: $\frac{1}{5}$ di millimetro invece di $\frac{1}{3}$. Aumentando la lunghezza del filo sottile, si guadagna in tensione; aumentando al contrario il suo diametro, si guadagna in quantità. Per mettere in azione dei piccoli rocchetti, da 30 a 35 centimetri di lunghezza, occorrono da due a quattro elementi alla Bunsen, gran modello; per i grandi rocchetti, Ruhmkorff stima che si debba adottare in media una superficie di pila quattro volte quella usata per le piccole.

Conosciuti questi dettagli, ecco come agisce l'apparecchio. La corrente della pila, giungendo per il filo P ad una vite di pressione *a*, va al commutatore C, che sarà descritto in seguito (fig. 630); poi alla vite di pressione *b* dalla quale entra nel rocchetto. Là, percorre il filo grosso, e agisce per induzione sul filo sottile. In seguito all'altra estremità del rocchetto, per il filo *s* (fig. 629), la corrente esce. Seguendo la direzione delle frecce, si vede che la corrente ascende nella vite di pressione *i*, guadagna un pezzo di ferro oscillante, che si chiama *martello*, discende sull'*ancudine h*, e guadagna una lamina di rame K, che la riconduce al commutatore C (fig. 628). Di là si reca alla vite di pressione *c* e finalmente al polo negativo della pila per il filo N.

Ora, si sa (743) che la corrente che passa nel filo grosso non agisce per induzione sul filo che quando incomincia o quando finisce. Bisogna dunque che questa corrente sia continuamente interrotta. È mediante il martello oscillante *o* (fig. 629) che queste interruzioni si ottengono. Infatti, al centro del rocchetto, da una estremità all'altra, trovasi un fascio di grossi fili di ferro dolce, formanti col loro insieme un cilindro

un po' più lungo del rocchetto come si vede in A, alle due estremità. Questo fascio magnetizzandosi, appena la corrente della pila passa nel grosso filo, il metallo *o* è attrato; ma tosto, il contatto non avendo più lungo tra *o* e *h*, la corrente si trova interrotta, la calamitazione cessa e il martello ricade; poi la corrente passando di nuovo, la stessa serie di fenomeni ricomincia; in modo che il martello si mette ad oscillare con grande rapidità.

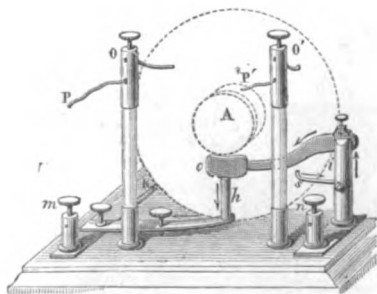



Fig. 629.

Condensatore. — A misura che la corrente della pila passa così, ad intermittenze, nel grosso filo del rocchetto, a ciascuna interruzione una corrente di induzione successivamente diretta ed inversa si produce nel filo sottile. Ora, quest'ultimo essendo completamente isolato, la corrente indotta acquista una tensione siffattamente considerevole, da produrre effetti intensissimi. Fizeau ha aumentato ancora di più questa intensità interponendo un condensatore nel circuito induttore. Questo condensatore, com'è costrutto da Ruhmkorff, si compone, nei grandi rocchetti, di centocinquanta foglie di stagnola di un mezzo metro quadrato di superficie, ciò che dà una superficie totale di sessantacinque metri quadrati. Queste foglie, per la loro riunione, formano due armature incollate sulle due facce di una lista di taffetà gommato che le isola; poi esse sono ripiegate più volte su sè stesse, in modo che il tutto possa disporsi al disotto del rocchetto, nello zoccolo di legno che lo sopporta. Una di queste armature, la positiva, è in comunicazione colla vite a pressione *i*, che riceve la corrente alla sua uscita dal rocchetto; e l'altra, la negativa, è in comunicazione colla vite di pressione *m*, che comunica essa stessa per la lamina K col commutatore C e colla pila.

Per comprendere l'effetto del condensatore, osserviamo che a ciascuna interruzione della corrente induttrice, si produce un estracorrente di egual senso di essa (750), la quale, continuando in certo qual modo, prolonga la sua durata, e, di conseguenza, indebolisce la sua tensione. È a questa estracorrente che è dovuta la scintilla che scocca a ciascuna interruzione tra il martello e l'ancudine; scintilla che, quando la corrente è forte, áltera rapidamente le superficie di contatto del martello e dell'ancudine, benchè si abbia cura di farle di platino. Al contrario, per l'interposizione del condensatore nel circuito induttore, l'estracorrente, invece di scoccare in scintilla così forte, si slancia nel condensatore, l'elettricità positiva sull'armatura che comunica con *i*, e l'elettricità negativa sull'armatura che comunica con *m*. Ora, le elettricità contrarie delle due armature, si combinano tosto per il grosso filo, la pila ed il circuito CK*m*, dando luogo ad una corrente contraria a quella della pila, la quale smagnetizza istantaneamente il fascio di ferro dolce; la corrente indotta è dunque di una più corta durata, e di conseguenza più intensa. Quanto alle viti di pressione *m* e *n* poste sul davanti della tavoletta esse servono a raccogliere l'estracorrente.

Commutatore. — Ci rimane a descrivere il commutatore che serve ad interrompere la corrente e a farla passare a volontà in un senso o nell'altro. Rappresentato in sezione orizzontale nella figura 630, esso è tutto di rame, salvo il nocciolo centrale A, che è un cilindro di bosso; sui due lati sono fissati due contatti di rame C, C′. Su questi si appoggiano due lamine metalliche di ottone, unite alle due viti di pressione *a* e *c*, che ricevono gli elettrodi della pila. Di conseguenza la corrente di questa giungendo in *a*, monta in C; di là, per una vite *y*, raggiunge la vite di presione *b* e il rocchetto; poi, ritornando per la lamina K, che comunica col martello, la corrente va fino in C′ per la vite *x*, dicende in *c* e ritorna alla pila per il filo N. Ora, se mediante il bottone *m* si gira il commutatore di 180 gradi, è facile di scorgere che accade il contrario; la corrente raggiunge allora il martello per la lamina K ed esce in *b*. Finalmente, se si gira soltanto di 90 gradi, le lamine elastiche non si appoggiano più sui contatti C, C′, ma sul cilindro di bosso A, e la corrente è interrotta.

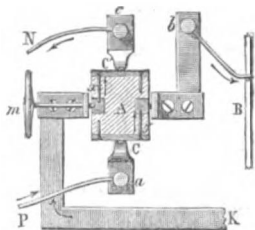



Fig. 630.

I due fili che si vedono uscire dal rocchetto in o, o′ (fig. 629) sono i due estremi del filo sottile. Essi sono in comunicazione con due fili più grossi P, P′, che servono a raccogliere la corrente indotta e a dirigerla dove si vuole. Finalmente, aggiungiamo che coi forti rocchetti, l'interruttore a martello oscillante, rappresentato nella figura 629, è insufficiente, le superficie di contatto si scaldano fino a saldarsi. Ma Foucault ha inventato recentemente un interruttore a mercurio che non presenta più questo inconveniente, e che è un importante perfezionamento portato al rocchetto di Ruhmkorff.

758. **Effetti prodotti col rocchetto di Ruhmkorff.** — Masson, per il primo, ha riconosciuta la tensione considerevole delle correnti di induzione, ed ha cercato ad utilizzarla per ottenerne effetti di elettricità statica. A questo scopo, costrusse, nel 1842, con Bréguet, un apparecchio di induzione mediante il quale egli ottiene degli effetti luminosi e calorifici già molto rimarchevoli; ma fu dopo che Ruhmkorff ha completamente isolata la corrente di induzione colla gomma-lacca, nel suo rocchetto, come è stato detto di sopra, che si è potuto utilizzare tutta la tensione delle correnti indotte, e riconoscere che queste correnti possedono e la proprietà della elettricità statica e quella dell'elettricità dinamica. Un gran numero di fisici si sono curati di moltiplicare le esperienze col rocchetto di Ruhmkorff, particolarmente Grove, Neef, Poggendorff, Plücker, Quet, Masson, Despretz, Ed. Becquerel, Gaugain e Du Moncel.

Gli effetti del rocchetto di Ruhmkorff hanno per causa le correnti indotte che si sviluppano nel filo sottile a ciascuna interruzione e a ciascuna ripresa della corrente induttrice. Ora, queste correnti indotte non sono eguali in durata e in tensione. È la corrente diretta o di *apertura*, che ha minore durata e maggior tensione; mentre la corrente inversa, o di *chiusura*, ha maggiore durata e minor tensione. Di conseguenza, se si mettono in contatto i due capi P, P′ del filo sottile (fig. 628

e 629), due quantità eguali e contrarie di elettricità circolando nel filo, le due correnti tendono ad annullarsi. Infatti, se si dispone un galvanometro nel circuito, non si osserva che una deviazione debolissima nel senso della corrente diretta. Non è più lo stesso se si allontanano le due estremità P P′ del filo. La resistenza dell'aria opponendosi allora al passaggio delle correnti, è quella che ha maggior tensione, vale a dire la corrente diretta che passa in eccesso, e più l'intervallo di P e P′ aumenta, più la corrente diretta tende a passare sola; tuttavia fino ad un certo limite al quale nè la corrente inversa nè la diretta non passano più. V'hanno allora soltanto da P in P′ delle tensioni alternativamente di senso contrario.

Ciò posto, gli effetti del rocchetto, come quelli della batteria e delle pile, si dividono in *effetti fisiologici, chimici, calorifici, luminosi* e *meccanici*, ma con questa differenza che essi sono enormemente più intensi. Gli effetti fisiologici lo sono siffattamente, che le commozioni che danno i rocchetti medii quando il filo grosso è percorso dalla corrente di una sola coppia di Bunsen, sono già insopportabili. Con due coppie di Bunsen si uccide un coniglio, e con un numero di coppie poco considerevoli un uomo sarebbe fulminato.

Gli effetti calorifici sono anche facili a constatarsi: basta per ciò di interporre, tra le due estremità P e P′ del filo indotto, un filo di ferro finissimo; questo è fuso e bruciato con una viva luce. Si osserva in questo caso questo fenomeno curioso, che se si termina ciascuno dei fili con un filo di ferro finissimo, quando si approssimano questi due fili di ferro l'uno all'altro, non v'ha che quello che corrisponde al polo negativo che si fonde; ciò che mostra che la tensione è più grande al polo negativo che non al polo positivo.

Gli effetti chimici sono molto vari, ciò che dipende da che il rocchetto dà contemporaneamente elettricità statica ed elettricità dinamica. Per esempio, secondo la forma degli elettrodi di platino che sono immersi nell'acqua, secondo la loro distanza, secondo il grado di acidulazione dell'acqua, si può ottenere nell'acqua effetti luminosi senza decomposizione, oppure la decomposizione dell'acqua colla separazione dei gas ai due poli, oppure la decomposizione coi gas mescolati ad un solo polo, o finalmente i gas mescolati ai due poli.

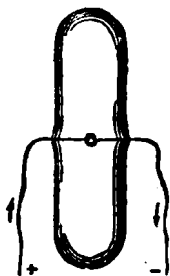



Fig. 631.

I gas possono essere decomposti o combinarsi per l'azione prolungata della scintilla elettrica della corrente di induzione. Ed. Becquerel e Fremy hanno infatti constatato che, se si fa passare la corrente del rocchetto di Ruhmkorff in un tubo di vetro pieno d'aria e ermeticamente chiuso, come mostra la figura 631, l'azoto e l'ossigeno dell'aria si combinano dando luogo ad acido nitroso.

Gli effetti luminosi del rocchetto di Ruhmkorff sono anch'essi assai variati, secondo che hanno luogo nell'aria, nel vuoto o nei vapori rarefatissimi. Nell'aria essi danno luogo ad una scintilla viva e fragorosa, la cui estensione va fino a 45 centimetri col gran rocchetto di 65 centimetri di lunghezza; nel vuoto gli effetti sono un po' più rimarchevoli. Per fare l'esperienza, si fanno comunicare i due fili P e P′ del rocchetto colle due aste dell'uovo elettrico già descritto (656) per osservare nel vuoto gli effetti luminosi della macchina elettrica.

Il vuoto essendo fatto nel globo, a uno o due millimetri almeno, si vede una bella striscia luminosa prodursi da una bolla all'altra, in un modo sensibilmente continuo e colla stessa intensità di quella che si ottiene con una potente macchina elettrica della quale si giri rapidamente il piatto. È questa esperienza che è rappresentata nella figura 637 (pag. 659). La figura 635, rappresenta una deviazione rimarchevole che subisce la luce elettrica quando si approssima la mano all'uovo.

È il polo positivo della corrente indotta che presenta maggior splendore; la sua luce è rossa di fuoco, mentre quella del polo negativo è debole e violacea; di più, quest'ultima si prolunga tutto il lungo dell'asta negativa, fenomeno che non si produce al polo positivo.

Finalmente, il rocchetto di Ruhmkorff produce effetti meccanici sì potenti, che col grande apparecchio di 65 centimetri di lunghezza, si fora istantaneamente una massa di vetro di 5 centimetri di spessore. L'esperienza è allora disposta come mostra la figura 632. I due poli della corrente indotta corrispondendo ai bottoni *a* e *b*, si fa comunicare

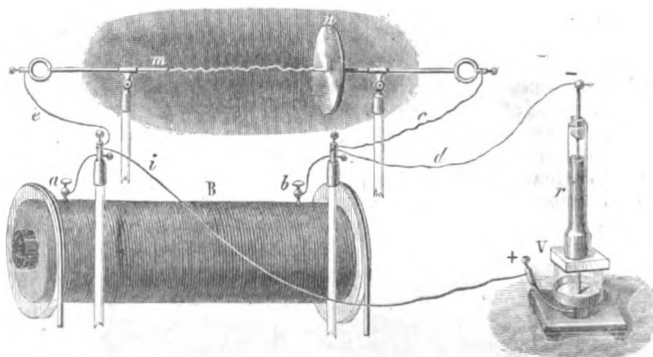



Fig. 632.

mercè un filo di rame *i* il bottone *a* col conduttore inferiore di un foravetro simile a quello già descritto (fig. 250), poi il polo *b* mercè il filo *d* al conduttore superiore. Questo è isolato in un grosso tubo di vetro *r* riempito di gomma lacca che vi si è colata allo stato di fusione. Tra i due conduttori trovasi la lamina di vetro da forarsi V. Nel caso in cui questa presentasse troppo grande resistenza, si dovrebbe temere che la scintilla non scoccasse nel rocchetto stesso forando lo strato isolante che separa i fili, e in tal caso il rocchetto sarebbe reso inservibile. Per evitare cotal accidente, due fili *e* e *c* mettono i poli del rocchetto in comunicazione con due aste metalliche orizzontali, più o meno lontane fra loro. Allora se la scintilla non può forare il vetro, scatta da *m* in *n* e il rocchetto è preservato.

Il rocchetto di Ruhmkorff può anche essere applicato, come la macchina elettrica, a caricare bottiglie di Leyda ed anche batterie di più bottiglie. La figura 633 mostra come si dispone l'esperienza colla bottiglia. Le armature di quest'ultima sono rispettivamente in comunicazione coi poli del rocchetto mercè due fili *d* e *i*, mentre che questi stessi

poli comunicano mercè i fili *e* e *c* con due aste orizzontali di un eccitatore universale (fig. 512). La bottiglia caricandosi costantemente mercè i fili *i* e *d*, ora in un senso ed ora nell'altro, essa si scarica di

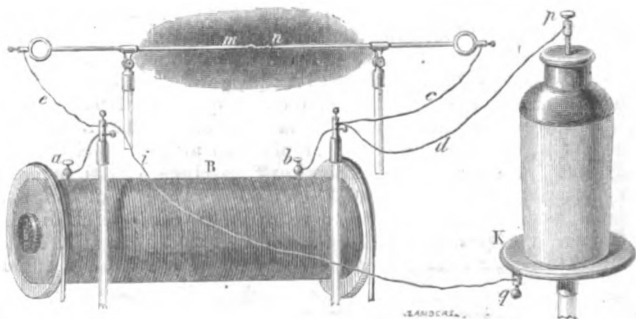



Fig. 633.

mano in mano per i fili *e* e *c*, la scarica avendo luogo da *m* in *n* sotto forma di una scintilla di 6 centimetri di lunghezza, splendentissima e molto rumorosa; giacchè non sono più scintille comparabili a quelle delle macchine elettriche, ma piuttosto veri colpi di fulmine.

Per la carica della batteria, l'esperienza si dispone diversamente, l'armatura esterna essendo in comunicazione con un polo del rocchetto per il filo *d* (fig. 634) e l'armatura interna coll'altro, per le aste *m*,

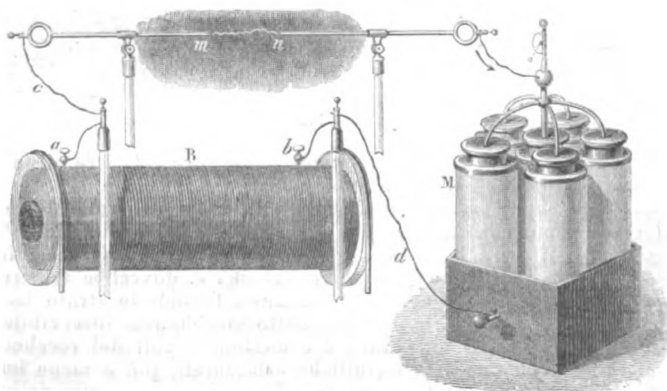



Fig. 634.

n e per il filo *c*. Tuttavia le aste *m* ed *n* non sono in contatto. Se esse lo fossero, le due correnti inversa e diretta passando egualmente, la batteria non si caricherebbe; mentre per l'intervallo tra *m* ed *n*, la corrente diretta, o d'apertura, che ha maggior tensione, passa sola,

ed è essa che carica la batteria. Col grande rocchetto e una corrente di 6 coppie di Bunsen, una batteria di 6 bottiglie, di 30 decimetri quadrati di armatura ciascuna, si carica per così dire istantaneamente.

759. **Stratificazione della luce elettrica.** — Studiando la luce elettrica fornita dal rocchetto di induzione di Ruhmkorff, Quet osservò

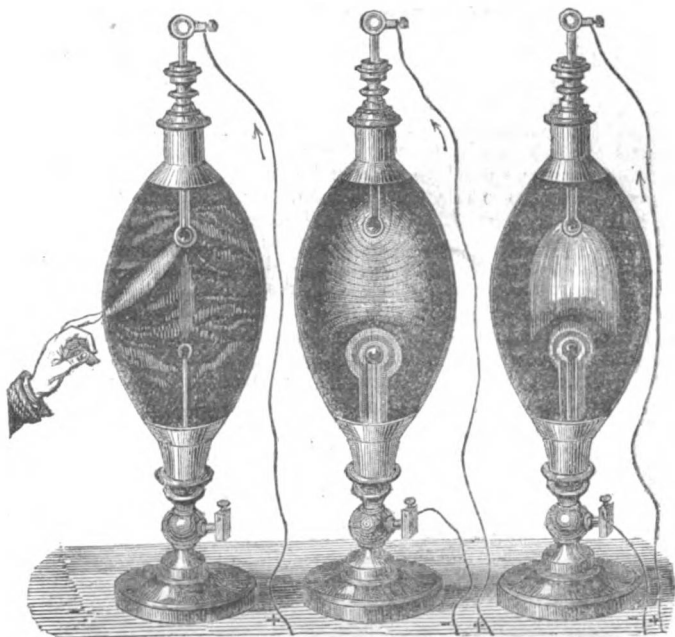



Fig. 635. Fig. 636. Fig. 637

che si fa il vuoto nell'uovo elettrico (fig. 636) dopo avervi introdotto del vapore d'olio essenziale di trementina, o di acido pirolegnoso, o di alcool, o di solfuro di carbonio, ecc., l'aspetto della luce viene interamente modificato. Allora essa apparisce sotto la forma di una serie di zone alternativamente brillanti od oscure, formando come una pila di luce elettrica fra i due poli.

Dalla discontinuità della corrente di induzione risulta che, in questa esperienza, la luce non è continua, ma consiste in una serie di scariche tanto più ravvicinate quanto più il martello *a* (fig. 629) oscilla rapidamente. Le zone luminose sembrano allora animate da un doppio movimento giratorio ed ondulatorio rapido. Quet riguarda questo movimento come un'illusione ottica, basandosi sul fatto che se si fa oscillare lentamente il martello colla mano, le zone appaiono assai distinte e fisse.

La luce del polo positivo il più delle volte è rossa, e quella del polo negativo violetta. Però la tinta cangia col vapore o col gas introdotto nel globo.

Despretz osservò che i fenomeni constatati da Ruhmkorff e da Quet con una corrente discontinua si riproducono con una corrente continua ordinaria, coll'importante differenza però, che la corrente continua richiede un numero di coppie di Bunsen piuttosto considerevole, mentre la corrente discontinua del rocchetto di Ruhmkorff ne richiede un piccol numero. Un altro fatto rimarchevole, constatato dall'esperienza, è che l'intensità degli effetti luminosi di questo rocchetto aumenta poco accrescendo il numero delle coppie della pila.

La teoria dei fenomeni della stratificazione della luce elettrica nei vapori e della colorazione dei poli non è conosciuta.

760. **Tubi di Geissler.** — Egli è principalmente quando si fa passare la scarica dal rocchetto di Ruhmkorff nei tubi di vetro contenenti un vapore od un gas rarefattissimo, che la stratificazione della luce elettrica presenta uno splendore ed una bellezza rimarchevole. Questi fenomeni che vennero studiati da Masson, Grove, Gassiot, Plücker, ecc., produconsi in tubi chiusi, di vetro o di cristallo, costrutti da Geissler, a Bonn. Al momento della chiusura, questi tubi vennero posti nelle condizioni della camera barometrica, e vi si fece passare, prima di chiuderli, una quantità piccolissima di un gas o di un vapore, purchè questo gas o questo vapore non sia, tutto al più, che ad una pressione di un mezzo millimetro. Finalmente, alle due estremità dei tubi, sono saldati due fili di platino che penetrano in essi da uno a due centimetri.

Ciò posto, appena si fanno comunicare questi due fili di platino colla estremità del rocchetto di Ruhmkorff, produconsi in tutta la lunghezza del tubo magnifiche strisce brillanti, separate da zone oscure. Queste strisce variano di forma, di colore e splendore a norma del grado di vuoto, della natura del gas o del vapore e delle dimensioni dei tubi. Spesse volte il fenomeno prende un aspetto ancora più bello per la fluorescenza che la scarica elettrica eccita nel vetro (552).

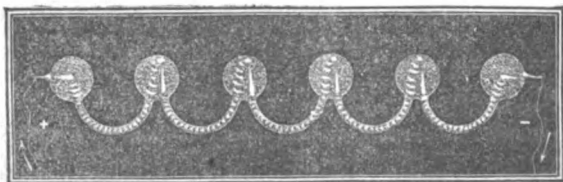



Fig. 638.

La figura 638 rappresenta le strisce date dall'idrogeno, a un mezzo millimetro di pressione, in un tubo alternativamente rigonfio e stretto; nelle bolle la luce è bianca; nelle parti capillari è rossa.

La figura 639 mostra le strisce nell'acido carbonico a un quarto di millimetro di pressione; il colore è verdastro, e le strisce non hanno la stessa forma di quelle nell'idrogeno. Nell'azoto, la luce è giallo-rossa.

Plücher, che ha studiato molto la luce dei tubi di Geissler, trovò che essa non dipende menomamente dalla sostanza degli elettrodi, ma unicamente dalla natura del gas o del vapore che è nel tubo. Constatò inoltre che le luci fornite dall'idrogeno, dall'azoto, dall'acido carbonico, ecc., differiscono molto in quanto allo spettro che esse forniscono, quando si fanno passare attraverso di un prisma. Secondo lo stesso fi-

sico, la scarica del rocchetto di induzione, che si trasmette in un gas molto rarefatto, non si trasmetterebbe nel vuoto assoluto, e la presenza di una materia ponderabile è assolutamente necessaria perchè si effettui il passaggio dell'elettricità.

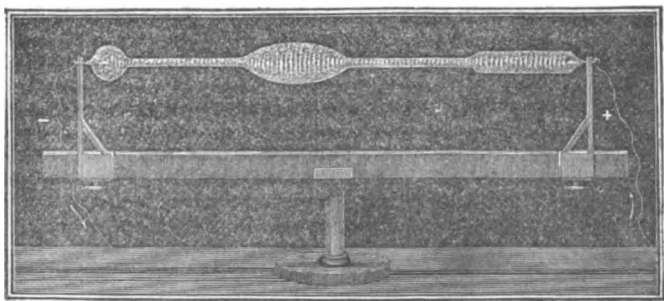



Fig. 639.

Col mezzo di una potente elettro-calamita, Plücker sottopose la scarica elettrica, nei tubi di Geissler, all'azione del magnetismo, come aveva fatto Davy per l'arco voltiano ordinario. Non potendo citare tutte le curiose esperienze di questo dotto, noi menzioneremo soltanto, nel caso in cui la scarica è perpendicolare alla linea dei poli, la separazione di questa scarica in due parti distinte, fenomeno che può spiegarsi per l'azione opposta dell'elettro-calamita sulle due estracorrenti di apertura e di chiusura che trovansi nella scarica.

Per terminare, citiamo un'applicazione recente dei tubi di Geissler alla patologia. Saldato un lungo tubo capillare a due bolle munite di fili di platino, ricurvasi questo tubo nel suo mezzo in modo che le due branche si tocchino, e ravvolgesi la loro estremità a strette spire come vedesi in *a* (fig. 640). Preparato così il tubo, contenente un gas molto rarefatto, come quelli descritti qui sopra, appena passa la scarica, producesi in *a* una luce abbastanza viva per illuminare le fosse nasali, le fauci o qualsiasi altra cavità del corpo umano in cui si introduca il tubo. Ma per questa esperienza necessita non solo un rocchetto, ma una pila per farlo agire, ciò che lo renda poco pratico pei medici.

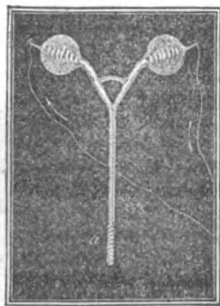



Fig. 640.

761. **Rotazione delle correnti indotte dalle calamite.** — De La Rive immaginò recentemente un'esperienza che dimostra in un modo curioso l'azione rotatoria delle calamite sulle correnti. Questo dotto ha fatto dapprima quest'esperienza con una forte macchina elettrica; ma essa presenta uno splendore assai più rimarchevole col rocchetto di Ruhmkorff.

L'apparecchio di De La Rive componesi di un pallone di vetro, un uovo elettrico, munito ad uno delle sue estremità di due robinetti, l'uno che si invita sulla macchina pneumatica, e l'altro, che è un ro-

binetto simile a quello di Gay-Lussac (336), serve a introdurre alcune gocciole di un liquido volatile nel pallone. All'altra estremità di questo vi è un tubo unito con mastice nel quale passa un'asta di ferro dolce *mn*, di due centimetri di diametro (fig. 641), l'estremità superiore della quale finisce presso a poco al centro del pallone. Quest'asta è ricoperta in tutta la sua estensione, meno alle sue due estremità, da un

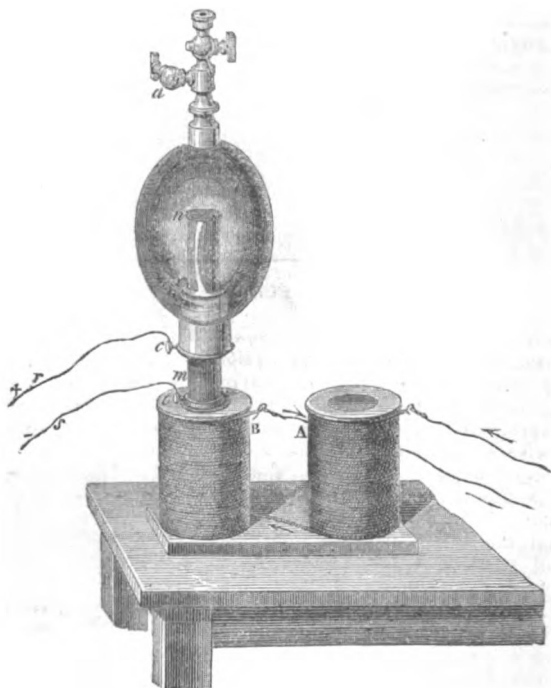



Fig. 641.

alto strato isolante, formato dapprima di gomma-lacca, poi da un tubo di vetro ricoperto esso pure di gomma-lacca, da un secondo tubo di vetro e finalmente da uno strato di cera ben liscio. Questo strato isolante deve avere per lo meno un centimetro di spessore. Nell'interno del pallone, lo strato isolante è circondato, in *x*, da un anello di rame che comunica per un filo dello stesso metallo con un bottone esteriore *c*.

Ciò posto, praticato, nel modo più perfetto possibile, il vuoto nel pallone, si introducono nel medesimo, pel robinetto *a*, alcune gocciole di etere o di essenza di trementina, poi si pratica di nuovo il vuoto, in modo che non resti nel pallone che un vapore estremamente rarefatto. Ponendo allora, su una branca di una forte elettro-calamita AB, un grosso disco di ferro dolce *o*, munito di un bottone, si applica sopra questo disco l'estremità *m* dell'asta *mn*; poscia si fanno giungere

le due estremità del filo indotto del rocchetto di Ruhmkorff, l'una al bottone *c*, l'altra al bottone *o*. Facendo allora agire il rocchetto senza che funzioni l'elettro-calamita, le elettricità contrarie dei fili *s* ed *r* passano; quella del primo filo sino all'estremità superiore *n* dell'asta di ferro dolce, e quella del secondo filo all'anello *x*, compare nell'interno del pallone da *n* in *x* un fascio luminoso più o meno irregolare, in giro all'asta, come nell'esperienza dell'uovo elettrico.

Ma se si fa passare una corrente voltiana nell'elettro-calamita, il fenomeno cangia tosto: invece di partire dai diversi punti del contorno superiore *n* e dell'anello *x*, la luce si condensa e manifestasi in un solo arco luminoso da *n* in *x*. Di più, ed è ciò che vi ha principalmente di rimarchevole in questa esperienza, quest'arco gira piuttosto lentamente intorno al cilindro calamitato *mn*, ora in un senso, ora in un altro, secondo la direzione della corrente indotta o il senso della magnetizzazione. Dacchè la magnetizzazione cessa, il fenomeno luminoso ritorna come era dapprima.

Un fatto degno di rimarco in questa esperienza, si è che essa fu immaginata *a priori* da De la Rive per ispiegare, mediante l'influenza del magnetismo terrestre, una specie di moto rotatorio dall'ovest all'est, passando pel sud, che si osservò nelle aurore boreali. In fatti, la rotazione dell'arco luminoso, nell'esperienza succitata, deve evidentemente essere riferita alla rotazione delle correnti per le calamite (721).

762. **Razzo di Stateham.** — Stateham, ingegnere inglese, trovò che quando un filo di rame AB (fig. 642) è coperto di gutta-percha solforata, in capo di alcuni mesi si forma, pel contatto del metallo e del suo inviluppo, uno strato di solfuro di rame che basta per condurre la corrente. Infatti, se, in una parte qualunque del circuito, si taglia la metà superiore dell'inviluppo, poi, nell'incavatura così formata, si toglie un pezzo di filo di rame delle lunghezza di 6 millimetri,

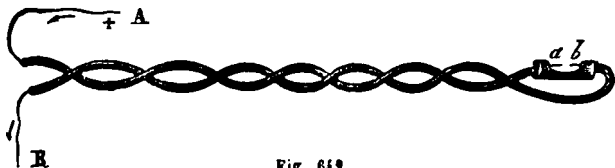



Fig. 642.

una corrente intensa che passi nel filo di rame, si trova interrotta da *a* in *b*, ma passa allora pel solfuro di rame che lo fa entrare in ignizione. Ne risulta che collocando nella cavità così scavata un corpo infiammabile, come del cotone fulminante o della polvere da cannone, questo corpo prende fuoco: da ciò il nome di *razzo di Stateham* dato a questo piccolo apparecchio. Du Moncel ha recentemente applicato con completo successo questo razzo all'esplosione delle mine nel porto di Cherbourg.

Se si vuol far agire il razzo di Stateham con una pila, questa deve essere potente; la corrente entrando in A ritorna alla pila per l'estremità B, o va a perdersi nel suolo, ciò che torna lo stesso. Ma se, invece di una pila, si adopera il rocchetto di Ruhmkorff, si ottengono gli stessi effetti con due coppie di Bunsen. Allora entra in A ed esce in B la

corrente indotta di questo rocchetto. In tal modo si verificano gli effetti calorifici della corrente d'induzione.

Faraday, che istituì alcune curiose esperienze sui fili di rame coperti di gutta-percha, trovò che gli effetti fisici e fisiologici prodotti da una corrente che passa in fili lunghissimi sono debolissimi ed anche insensibili, quando i fili trovansi nell'aria, e che al contrario sono assai intensi quando i fili sono immersi nell'acqua o posti sotterra. Faraday, che esperimentava sopra fili della lunghezza di 160 chilometri, spiega questo fenomeno paragonando il filo di rame coperto di gutta-percha ad un condensatore assai grande: il filo di rame, caricato di elettricità per mezzo della pila o del rocchetto, agisce per influenza, attraverso alla gutta-percha, sott'acqua o sul suolo, che in tal modo forma l'armatura esterna del condensatore; d'onde l'accumulazione d'elettricità e gli effetti energici che in tal caso si ottengono.

CARATTERI, INTENSITA' E DIREZIONE DELLE CORRENTI INDOTTE

763. **Caratteri delle correnti di induzione.** — Dalle diverse esperienze fin qui indicate sulle correnti di induzione, rilevasi che ad onta della loro istantaneità, esse possiedono tutte le proprietà delle correnti voltiane ordinarie. Come queste, producono violenti effetti fisiologici, effetti luminosi, calorifici, chimici, e danno esse pure origine a nuove correnti indotte. Finalmente, esse fanno deviare l'ago dei galvanometri e magnetizzano le spranghe di acciaio, quando si fanno passare in un filo di rame avvolto ad elice intorno a queste spranghe.

L'intensità della scossa delle correnti indotte rende i loro effetti paragonabili a quelli della elettricità allo stato di tensione. Però, siccome agiscono sempre sul galvanometro, bisogna ammettere che nei fili sottoposti all'induzione, sianvi simultaneamente elettricità di tensione ed elettricità dinamica. Infatti, raccogliendo continuamente la corrente, indotta nella stessa direzione per mezzo di un commutatore, Masson giunse a caricare il condensatore. Questa ipotesi però acquista maggior grado di probabilità per gli effetti che abbiamo detto ottenersi col rocchetto di Ruhmkorff.

La corrente indotta diretta e la corrente indotta inversa furono paragonate fra loro sotto tre punti di vista: l'energia della scossa, l'ampiezza della deviazione del galvanometro e l'azione magnetizzante sulle spranghe d'acciaio. Così considerate, queste correnti presentano risultati assai differenti: esse sembrano sensibilmente uguali quanto alla deviazione del galvanometro, mentre la scossa della corrente diretta è assai forte e quella della corrente inversa è quasi nulla. La stessa differenza sussiste rispetto alla forza magnetizzante: la corrente diretta magnetizza a saturazione, ma la corrente inversa non magnetizza.

764. **Leggi delle correnti di induzione.** — Nel suo trattato speciale sull'induzione. Matteucci deduce da' suoi propri lavori e da quelli di Faraday, Lenz, Dove, Abria, Weber, Marianini e Felici le leggi seguenti sulle correnti di induzione:

1.ª *L'intensità delle correnti indotte è proporzionale a quella delle correnti induttrici.*

2.ª *Questa stessa intensità è proporzionale al prodotto delle lunghezze dei circuiti induttori ed indotti.*

3.ª *L'intensità di una corrente indotta è in ragione inversa del tempo durante il quale essa si sviluppa.*

4.ª *La forza elettro-motrice sviluppata da una data quantità di elettricità è la stessa, qualunque sia la natura, la sezione e la forma del circuito induttore.*

5.ª *La forza elettro-motrice sviluppata dall'induzione di una corrente sopra un circuito conduttore qualunque, è indipendente dalla natura di questo conduttore.*

6.ª *Lo sviluppo dell'induzione è indipendente dalla natura del corpo isolante interposto fra il circuito induttore e l'indotto.*

Quest'ultima legge, come abbiamo già osservato, non è d'accordo colle esperienze di Faraday sull'induzione dell'elettricità statica (630).

765. **Direzione delle correnti indotte sui dischi giranti.** — Faraday ha cercato, pel primo, quale fosse la direzione delle correnti indotte sulla superficie dei dischi metallici giranti davanti ai poli contrari di due forti calamite. Il suo processo consiste a mettere uno degli estremi

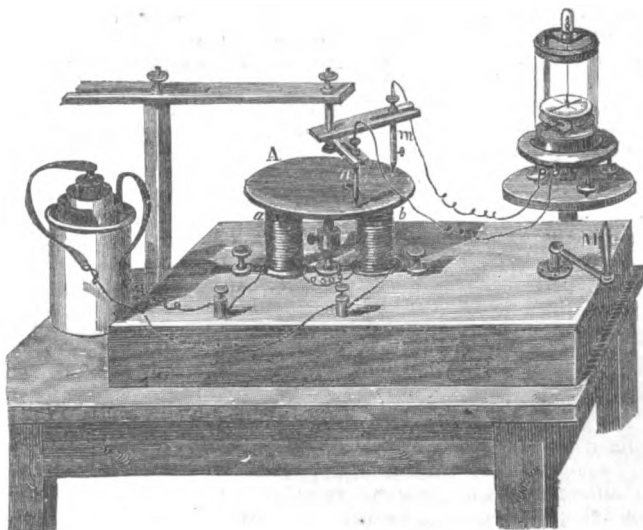



Fig. 643.

del filo del galvanometro in contatto coll'asse del disco girante, e l'altro capo con diversi punti della circonferenza dello stesso disco. Ha così constatato, dietro la deviazione dell'ago del galvanometro, che, durante la rotazione del disco, si producono, alla sua superficie, delle correnti indotte dirette dal centro alla circonferenza, o dalla circonferenza al centro, secondo il senso della rotazione, e che queste correnti sono simmetriche riguardo al diametro polare, vale a dire che passa al disopra dei poli delle calamite.

Nobili e Antinori si sono pure occupati di ricercare la direzione delle correnti indotte sui dischi giranti, e, per ciò, uno degli estremi del filo del galvanometro essendo a contatto coll'asse del disco, essi facevano comunicare l'altra estremità, non solo colla circonferenza del disco, ma ancora coi differenti punti della sua superficie. Hanno così osservato che, sulle parti del disco che entravano sotto l'influenza magnetica, si sviluppa costantemente un sistema di correnti contrarie a quelle della calamita e che, sulle parti che uscivano da questa influenza, si producono delle correnti dello stesso senso di quelli della calamita, e per conseguenza contrarie alle prime.

Matteucci, avendo studiato gli stessi fenomeni, ma con maggior precisione, li ha trovati più complicati che non li credesse. La figura 643 rappresenta l'apparecchio impiegato da questo fisico. Esso si compone di una cassa di legno nella quale una serie di ingranaggi trasmette, mediante una manovella M, un movimento di rotazione più o meno rapido ad un disco di metallo A, di 20 centimetri di diametro. Al disotto del disco, ad una distanza di 2 a 3 millimetri, trovasi una potente elettro-calamita *ab*, che si sposta in una scanalatura, in modo da poter presentare i suoi poli successivamente a tutti i punti della lamina. Finalmente, al disopra del disco trovansi due aste di rame *m* e *n*, terminate ciascuna da una punta smussata e amalgamata che tocca il disco. Queste stesse aste alla loro estremità superiore, comunicano coi due capi del filo di un galvanometro; di più, per la disposizione dei sostegni ai quali esse sono fissate, possono occupare tutte le posizioni riguardo al centro e alla circonferenza del disco.

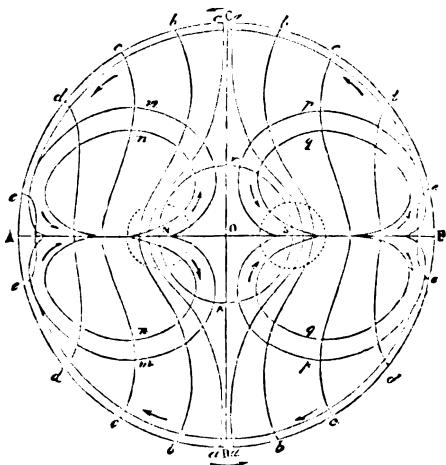



Fig. 644.

Mediante questo apparecchio, e mettendo uno dei capi del filo del galvanometro in contatto col centro, e l'altro coi diversi punti della superficie del disco, Matteucci ha constatato i fatti seguenti, rappresentati nella figura 644, nella quale i punti N ed S sono le proiezioni

dei poli della elettro-calamita, e AB la linea che passa al disopra di questi poli.

1.° Matteucci ha trovato *linee di nessuna corrente*, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, che sono normali alla linea AB, e si ricurvano presso i lembi del disco in modo da essere loro sempre normali.

2.° La proiezione di ciascun polo dell'elettro-calamita sul disco è un *punto neutro*, vale a dire di nessuna corrente; di più una linea neutra *rr* sensibilmente circolare, che passa per le proiezioni dei due poli ed ha per centro l'asse dell'elettro-calamita, è nello stesso tempo *linea d'inversione*, vale a dire che le correnti di dentro e di fuori di questa linea sono di direzioni contrarie.

3.° Le *linee di correnti elettriche*, vale a dire quelle secondo le quali ha luogo il massimo di effetto, intersecano sempre normalmente le linee di nessuna corrente, e sono tangenti alla retta AB; le linee di corrente massima sono rappresentate in *m*, *n*, *p*, *q*.

4.° La posizione della linea neutra *r*S*r*N, che passa per le proiezioni dei due poli, non è sensibilmente modificata dalla natura del disco, dal suo spessore e dalla intensità della corrente della pila; ma questa linea si ristringe su sè stessa a misura che la velocità di rotazione aumenta.

5.° Finalmente, da ciascun lato dei punti neutri, sul diametro polare, si trovano due punti *maxima* la cui distanza dipende dalla grossezza della elettro-calamita e dal diametro del disco girante.

Per maggiori dettagli su questi fenomeni, rimandiamo il lettore al *Corso speciale sull'induzione ed il magnetismo di rotazione*, pubblicato alla fine del 1854 da Matteucci.

766. **Calore sviluppato dall'induzione delle calamite potenti sui corpi in movimento.** — Abbiamo veduto parlando della esperienza di Arago (748), che un disco di rame girante sopra sè stesso agisce a distanza sopra una calamita mobile per trasmetterle il suo movimento di rotazione. Quanto prima vedremo (768) che reciprocamente un cubo di rame, animato da un rapido movimento di rotazione, è arrestato istantaneamente dall'influenza dei poli di due forti calamite (fig. 648). È evidente che qualora in queste esperienze si volesse impedire la rotazione dell'ago o far continuare il cubo a girare, bisognerebbe impiegare costantemente un certo lavoro meccanico onde vincere la resistenza che risulta dall'azione induttrice delle calamite. Ora, appoggiandosi alla teoria della trasformazione del lavoro meccanico in calorico, che da alcuni anni preoccupa i fisici (366), si cercò quale sarebbe la quantità di calorico in tal modo sviluppato dalle correnti di induzione sotto l'influenza di potenti calamite. Joule, allo scopo di determinare l'equivalente meccanico del calorico, avvolse un rocchetto attorno ad un cilindro di ferro dolce, e, dopo aver chiuso il tutto in un tubo di vetro pieno d'acqua, impresse al sistema un movimento di rotazione rapido fra i rami di una forte elettro-calamita. Un termometro immerso nel liquido serviva a misurare la quantità di calore sviluppata dalle correnti di induzione nel ferro dolce e nel filo di rame avvolto intorno.

Foucault istituì recentemente a quest'uopo una esperienza rimarchevole per mezzo dell'apparato rappresentato dalla figura 645. Quest'apparato consiste in una potente elettro-calamita fissata orizzontalmente sopra una tavola. Due pezzi di ferro dolce A e B trovansi in contatto coi poli dell'elettro-calamita, in modo che magnetizzandosi essi pure

per influenza, concentrano sulle due facce di un disco metallico D la loro azione magnetica induttrice. Questo disco, di rame, del diametro di 75 millimetri e della grossezza di 7 millimetri, trovasi in parte collocato fra i pezzi A e B, ove riceve, per mezzo di una manovella e di una serie di ruote dentate e di rocchetti, una velocità di 150 a 200 giri per secondo.

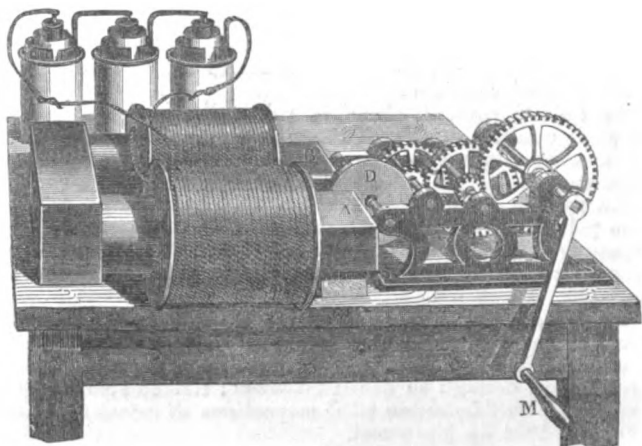



Fig. 615.

Ciò posto, finchè la corrente della pila non passa nel filo dell'elettrocalamita, non si prova che una debolissima resistenza nel far girare la manovella, e se, dopo che essa ha assunto colle ruote e col disco un moto di rotazione rapido, la si abbandona a sè stessa, la rotazione continua alquanto per la velocità acquistata. Ma se si fa passare la corrente, il disco e gli altri pezzi si arrestano quasi istantaneamente, e se allora si riprende la manovella, si prova una resistenza considerevole. Ora, se, malgrado questa resistenza, si continua a far ruotare il disco, la forza che vi si impiega si trasforma in calorico ed il disco si riscalda notabilmente. In un'esperienza istituita innanzi a noi da Foucault, la temperatura del disco si innalzò in 3 minuti da 10 a 61 gradi, e la corrente era fornita soltanto da tre elementi della pila di Bunsen. Con sei, la resistenza è tale che non si potrebbe continuare a lungo a far girare la manovella.

CAPITOLO VII.

EFFETTI OTTICI DELLE CALAMITE POTENTI, DIAMAGNETISMO

767. **Effetti ottici delle calamite potenti.** — Faraday, nel 1845, scoprì che una potente elettro calamita esercita sopra parecchie sostanze tra-

sparenti un'azione tale che, se un raggio polarizzato le attraversa nella direzione della linea dei poli magnetici, il piano di polarizzazione è deviato ora a destra, ora a sinistra (570), secondo il verso della magnetizzazione.

La figura 646 rappresenta l'apparato di Faraday, tale quale venne costruito da Ruhmkorff. Quest'apparato è formato da due elettro-calamite M ed N potentissime, fisse a due carri di ferro O, O', che ponno

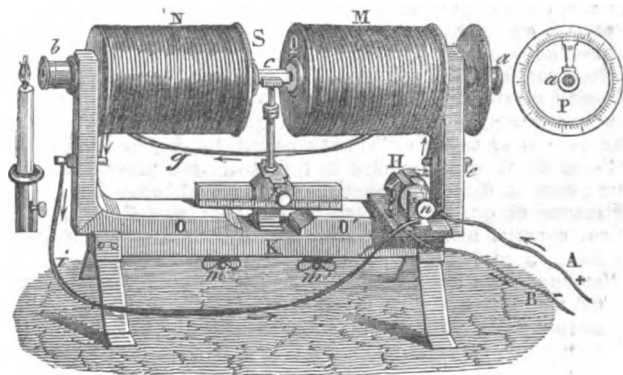



Fig. 646 (a. = 43).

essere avvicinati più o meno scorrendo sopra un sostegno K. La corrente di una pila di 10 ad 11 coppie di Bunsen entra in A, giunge ad un commutatore H, al rocchetto M, indi al rocchetto N pel filo *g*, discende nel filo *i*, passa di nuovo nel commutatore e sorte in B. I due cilindri di ferro dolce S e Q che occupano l'asse dei rocchetti, hanno al loro centro dei fori cilindrici onde lasciar passare i raggi luminosi. Finalmente, in *b* ed *a* vi sono due prismi di Nicol (568, 4.°), dei quali il primo serve di polarizzatore ed il secondo di analizzatore. Per mezzo di un'alidada, quest'ultimo gira al centro di un cerchio graduato, rappresentato in P.

Ciò posto, disposti questi due prismi in modo che le loro sezioni principali siano perpendicolari fra loro, il prisma *a* spegne completamente la luce trasmessa attraverso al prisma *b*. Se allora si colloca in *c*, sull'asse dei due rocchetti, una piastra di flint o di vetro a facce parallele, la luce è ancora estinta finchè la corrente non passa; ora, appena che sono stabilite le comunicazioni, la luce riapparisce ma colorata, e se si gira l'analizzatore *a* a destra od a sinistra, secondo la direzione della corrente, la luce assume successivamente le differenti tinte dello spettro, come avviene colle piastre di quarzo tagliate perpendicolarmente all'asse (571). Ed. Becquerel mostra che un gran numero di sostanze solide e liquide possono in tal modo far rotare il piano di polarizzazione sotto l'influenza di calamite potenti. Faraday ammette che in queste esperienze la rotazione del piano di polarizzazione sia dovuta ad un'azione delle calamite sui raggi luminosi; Biot ed Edmondo Becquerel ritengono che questo fenomeno sia dovuto ad un'azione delle calamite sui

corpi trasparenti sottoposti alla loro influenza, ipotesi ammessa generalmente.

768. **Effetti diamagnetici delle calamite potenti.** — Abbiamo già detto (591) che si chiamano *diamagnetici* quei corpi che sono respinti dalle calamite. Questa denominazione venne adottata da Faraday che, pel primo, osservò questa specie di fenomeni nel 1847. Gli effetti diamagnetici delle calamite si manifestano solo quando queste sono assai potenti, e vennero scoperti e studiati coll'apparato di Faraday (fig. 646). Vi sono corpi diamagnetici tanto solidi che liquidi e gasosi, come lo dimostrano le esperienze seguenti, per istituire le quali si uniscono a vite sui rocchetti alcune armature di ferro dolce S e Q di forme diverse.

1.ª *Diamagnetismo dei solidi.* — Un piccolo cubo di rame sospeso fra due calamite mediante un filo di seta torto e girante rapidamente sopra sè stesso per effetto del filo che si storce (fig. 648), si arresta nella posizione in cui si trova all'istante in cui la corrente passa nei rocchetti. Se si dà al pezzo mobile la forma di una piccola spranga rettangolare, essa si dispone perpendicolarmente all'asse dei rocchetti, o nella direzione di quest'asse, secondo che è formata d'una sostanza diamagnetica, come il bismuto, l'antimonio, o di una sostanza magnetica, come il ferro, il nichelio, il cobalto.

2.ª *Diamagnetismo dei liquidi.* — Anche i liquidi presentano dei fenomeni di magnetismo e di diamagnetismo. Per osservarli si pone il liquido entro piccoli tubi di vetro assai sottili che si sospendono al posto del cubo *m* nella figura 628. Se i liquidi sono magnetici, come le

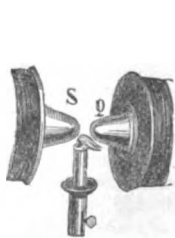
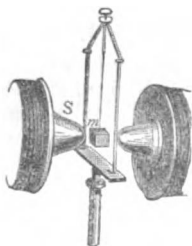
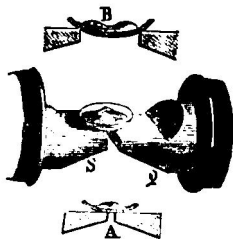



Fig. 647. Fig. 648 Fig. 649.

soluzioni di ferro, di nichelio, di cobalto, i tubi si dirigono secondo l'asse delle due elettro-calamite; ma se sono diamagnetici, come l'acqua, l'alcool, l'etere, l'olio essenziale di trementina e la maggior parte delle soluzioni saline, i tubi si dispongono in una direzione perpendicolare all'asse delle calamite.

L'azione delle calamite potenti sui liquidi magnetici o diamagnetici si osserva anche per mezzo dell'esperienza seguente, istituita per la prima volta da Plücher. Si versa una soluzione di cloruro di ferro in un vetro da orologio, che si colloca sulle due armature S e Q delle elettro-calamite dell'apparecchio di Faraday. Appena che la corrente passa nelle elettro-calamite, si vede che la soluzione forma uno o due rigonfiamenti, secondo la distanza dei rocchetti, come è rappresentato in A ed in B (fig. 649); questi rigonfiamenti durano finchè passa la corrente,

e si producono in differenti gradi con tutti i liquidi magnetici. I liquidi diamagnetici presentano effetti inversi, come lo constatò Plücher pel mercurio, osservandone la curvatura sopra un pezzo d'argento amalgamato di recente e collocato sulle armature.

3.ª *Diamagnetismo dei gas.* — Bancalari, pel primo, osservò che la fiamma di una candela collocata fra i due rocchetti dell'apparato di Faraday è fortemente respinta (fig. 647). Tutte le fiamme presentano in diversi gradi lo stesso fenomeno. Quet ottenne effetti di ripulsione assai intensi sottoponendo alla stessa esperienza la luce elettrica della pila ottenuta coi due coni di carbone (fig. 547).

Dopo le esperienze di Bancalari, Faraday ed Edmondo Becquerel fecero numerose ricerche intorno al diamagnetismo dei gas, come abbiam già detto nel parlare dell'azione delle calamite potenti su tutti i corpi (591). Inoltre, Faraday riconobbe che l'ossigeno, il quale è magnetico alla temperatura ordinaria, diviene diamagnetico a temperatura assai elevata, e che soventi volte il magnetismo od il diamagnetismo di una sostanza dipende dal mezzo nel quale si trova. Per es., un corpo magnetico nel vuoto può diventare diamagnetico nell'aria.

4.ª *Detuonazione prodotta dalla interruzione della corrente sotto l'influenza di una forte elettro-calamita.* — Citeremo ancora, siccome effetto rimarchevole dell'apparato di Faraday, la seguente esperienza dovuta a Ruhmkorff. Quando si collocano fra i due poli S e Q della figura 647 le due estremità del grosso filo nel quale passa la corrente dell'elettro-calamita, cioè quando si chiude il circuito fra i due poli S e Q, non producesi nè scintilla nè rumore, o soltanto un piccolo rumore ed una debole scintilla. Ma, al momento in cui si separano le due estremità del filo, e per conseguenza si interrompe la corrente, si ode una violenta detuonazione, forte quasi come quella di un colpo di pistola. Sembrerebbe adunque che questo fenomeno fosse prodotto dall'estracorrente (750), la cui intensità sarebbe potentemente accresciuta dai due poli dell'elettro-calamita.

769. **Teoria del diamagnetismo.** — Parecchie teorie furono proposte onde spiegare i fenomeni del diamagnetismo. Abbiamo già veduto (591) che Edmondo Becquerel ammette che la ripulsione esercitata dalle calamite sopra certe sostanze sarebbe dovuta all'esser queste circondate da un mezzo più magnetico di loro, ipotesi che evidentemente è una applicazione del principio d'Archimede. Plücher diede una teoria che differisce da quella di Edmondo Becquerel, ma che però è appoggiata essa pure al principio d'Archimede. Faraday collegò i fenomeni diamagnetici coi fenomeni di induzione, ammettendo che in un corpo diamagnetico, come, per es., il bismuto, si producono, all'avvicinarsi di una forte calamita, delle correnti di induzione sulle quali reagiscono le correnti di Ampère. Di modo che allora, trovandosi di fronte i poli dello stesso nome, avvi ripulsione come nei solenoidi. All'incontro, nelle sostanze magnetiche, si producono delle correnti orientate, in modo che si trovano di fronte i poli non identici, ed allora avvi attrazione.

CAPITOLO VIII.

CORRENTI TERMO-ELETTRICHE

770. **Esperienza di Seebeck.** — Finora non parlammo che di correnti elettriche sviluppate dalle azioni chimiche; tale infatti è la sorgente più energica di elettricità dinamica. Però anche il calore può dare origine a correnti assai deboli, è vero, ma rimarchevoli per il legame che stabiliscono fra il calorico e l'elettricità, e per l'applicazione che ricevettero nell'apparato di Melloni. Queste correnti furono denominate *correnti termo-elettriche* per distinguerle dalle correnti dovute alle azioni chimiche, le quali si chiamano *correnti idro-elettriche*.

Sapevasi già che parecchi cristalli naturali, come la tormalina, il topazzo, acquistavano delle proprietà elettriche quando se ne elevava la temperatura, e Volta aveva annunciato che una lamina d'argento riscaldata inegualmente alle sue due estremità costituiva un elemento elettro motore; ma Seebeck, professore a Berlino, fu il primo a mostrare, nel 1821, come il movimento del calorico in un circuito metallico poteva dare origine a correnti elettriche.

Queste correnti si verificano per mezzo del piccolo apparecchio rappresentato dalla figura 650, il quale consiste in una lamina di rame mn,

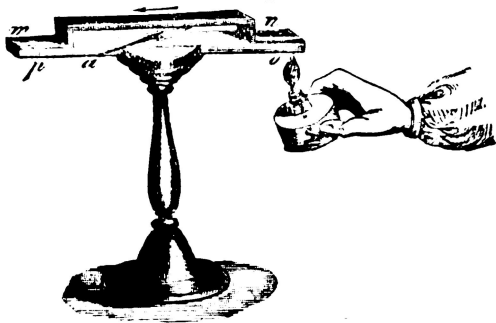



Fig. 650.

le cui estremità sono ripiegate e saldate ad una lamina di bismuto op. Nell'interno del circuito così formato trovasi un ago magnetico a, mobile su di un perno. Ciò essendo, disposto l'apparato nella direzione del meridiano magnetico, si riscalda leggermente una delle saldature, come mostra la figura, ed allora si vede l'ago deviare, ciò che indica nel rame la produzione di una corrente da n verso m, cioè dalla saldatura calda verso la saldatura fredda. Se, invece di scaldare la saldatura n,

la si raffredda con ghiaccio, conservando all'altra saldatura la sua temperatura, si produce ancora una corrente, ma in senso inverso, cioè da *m* verso *n*, ed in ambedue i casi la corrente è tanto più energica, quanto maggiore è la *differenza* di temperatura delle due saldature.

771. **Causa delle correnti termo-elettriche.** — Le correnti termo-elettriche non ponno essere attribuite al contatto, perchè possono svilupparsi anche nei circuiti formati con un solo metallo. Non provengono nemmeno da azioni chimiche, perchè Becquerel verificò che si producono anche nel vuoto e nell'idrogeno. Osservando queste correnti per mezzo di un galvanometro, il medesimo scienziato trovò che dipendono sempre dall'ineguale propagazione del calorico attraverso alle diverse parti del circuito.

Per dimostrarlo, si prende un arco formato di due metalli e si uniscono le sue estremità coi due capi del filo galvanometrico saldandole insieme o ponendole semplicemente a contatto. Fino a che tutti i punti del circuito così formato trovansi alla stessa temperatura, il galvanometro non indica alcuna corrente, ma se si riscalda una delle saldature, immediatamente la deviazione dell'ago del moltiplicatore segna il passaggio di una corrente.

Se tutte le parti del circuito sono omogenee, non si manifesta alcuna corrente quando si riscalda uno qualunque de' suoi punti, perchè allora il calorico si propaga egualmente in tutte le direzioni. Ciò accade, per esempio, se si congiungono i due capi del filo di rame che si avvolge attorno al galvanometro per mezzo di un secondo filo di rame. Ma se si distrugge l'omogeneità di quest'ultimo filo in uno de' suoi punti, ritorcendolo parecchie volte sopra sè stesso od annodandolo, ed indi lo si riscalda vicino a questo punto, l'ago colla sua deviazione indica una corrente diretta dal punto riscaldato al punto in cui venne distrutta l'omogeneità. Riscaldando il filo dal lato opposto di quest'ultimo punto, la corrente si produce in senso inverso.

772. **Facoltà termo-elettrica dei metalli.** — Chiamasi *facoltà termo-elettrica* di un metallo l'energia della corrente prodotta dalla propagazione del calore in questo metallo. Per una stessa differenza di temperatura fra due punti vicini, questa facoltà varia da un metallo all'altro, e per uno stesso metallo aumenta colla differenza di temperatura.

Formando dei circuiti con differenti metalli, una saldatura dei quali era portata a 20 gradi, mentre le altre erano mantenute a zero, Becquerel giunse ad ordinare i metalli nella serie crescente delle loro facoltà termo-elettriche, cioè: bismuto, platino, argento, stagno, piombo, rame, oro, zinco, ferro ed antimonio; ciascuno dei quali è positivo con quelli che lo precedono, negativo con quelli che lo seguono.

773. **Teoria delle correnti termo-elettriche.** — Onde spiegare la produzione delle correnti per mezzo del calore, Becquerel ammette che quando un circuito metallico è riscaldato in una delle sue parti, il fluido neutro è decomposto, in modo che al momento in cui le molecole si riscaldano, si impossessano dell'elettricità positiva e respingono la negativa. Indi, le molecole successive, riscaldandosi alla lor volta, si elettrizzano positivamente cedendo la loro elettricità negativa alle prime, e così di seguito a misura che il calorico si propaga nel circuito; di modo che si produce una corrente d'elettricità positiva dalla parte calda verso la parte fredda, ed una corrente di elettricità negativa nella direzione contraria.

Ciò posto, siccome in un circuito omogeneo il calorico si propaga ugualmente in tutte le direzioni, la parte riscaldata dà origine a due circuiti contrari e di uguale intensità, il cui effetto è nullo sull'ago del galvanometro. Ma se il circuito cessa di essere omogeneo, la conducibilità calorifica non essendo più la stessa ed il circuito riscaldandosi maggiormente in un senso che nell'altro, si producono due correnti inverse di ineguale intensità; di modo che l'energia della corrente osservata è allora uguale alla differenza tra le intensità di queste due correnti. Dunque la corrente ottenuta è tanto più intensa quanto maggiore è la differenza fra le facoltà termo-elettriche dei due metalli. Quanto alla direzione di questa corrente risulta dalla teoria suesposta che il polo positivo corrisponde al metallo che ha maggior facoltà termoelettrica, ed il polo negativo all'altro.

774. **Proprietà delle correnti termo-elettriche.** — Le correnti termoelettriche si distinguono dalle correnti idro-elettriche, perchè condotte come queste ultime dai metalli, non lo sono dai liquidi, od almeno lo sono in grado debolissimo. Però tal differenza non dipende dalla natura di queste correnti ma soltanto dalla loro tensione, la quale è molto più debole di quella delle correnti idro-elettriche. Infatti Pouillet, per mezzo di un galvanometro differenziale, verificò che l'intensità della corrente termo-elettrica sviluppata da una coppia di bismuto ed antimonio le cui saldature siano mantenute ad una differenza di temperatura di 100 gradi, è centomila volte minore di quella di una corrente idro-elettrica di una pila a truogoli ordinaria di 12 coppie.

Le correnti termo-elettriche, non essendo condotte dai liquidi a motivo della loro debole intensità, non producono, in generale, alcun effetto chimico. Però, Botto, a Torino, riunendo 150 coppie termo-elettriche di platino e di ferro, giunse ad ottenere alcune tracce di decomposizione nei liquidi.

Le correnti termo-elettriche esercitano come le idro-elettriche un'azione direttrice sull'ago magnetizzato; ma siccome, stante la loro debole tensione, si indeboliscono rapidamente quando aumenta la lunghezza del circuito che attraversano, bisogna evitare di far loro percorrere lunghi fili quando si fan passare nel circuito del galvanometro; perciò, in questo caso, si forma il circuito con un filo corto e grosso, mentre nei galvanometri destinati alle correnti idro-elettriche il filo è sottile e lungo.

775. **Pila termo-elettrica di Nobili.** — Chiamansi *pile termo-elettriche* gli apparecchi destinati ad accumulare le tensioni termo-elettriche che si producono in un circuito composto di parecchi metalli, quando si scaldano le saldature una sì e l'altra no, mantenendo le altre ad una temperatura costante.

La prima pila di questo genere, costruita da Œrsted e Fourier, si componeva di una serie di piccole spranghe di bismuto e di antimonio, saldate le une in seguito alle altre in linea retta o in cerchio. Le spranghe di bismuto erano alternativamente terminate da una parte a gomito che si immergeva nel ghiaccio a zero, mentre le altre saldature erano portate ad una temperatura di 200 a 300 gradi per mezzo di piccole lampade.

Nobili modificò la forma della pila termo-elettrica onde raccogliere un considerevole numero di coppie sotto piccolo volume. Per ciò, riunì le coppie di bismuto e di antimonio in modo che dopo aver formata

una fila di cinque coppie, come mostra la figura 652, l'asta di bismuto *b* si saldasse lateralmente all'antimonio di una seconda fila simile, indi l'ultimo bismuto di questa all'antimonio di una terza fila, e così di seguito per quattro file verticali, contenenti complessivamente 20 coppie, incomincianti con un antimonio e terminanti con un bismuto. Queste coppie così disposte, sono isolate le une dalle altre per mezzo di piccole liste di carta coperte di vernice, indi chiuse in un astuccio di rame P (fig. 651), in modo che appariscano le sole saldature alle due estremità della pila. Due bottoni di rame *m* ed *n*, isolati in un anello d'avorio, comunicano internamente l'uno col primo antimonio, e rappresenta il polo positivo, l'altro coll'ultimo bismuto, e rappresenta il polo negativo. Allorchè si vuol osservare la corrente termo-elettrica si fanno comunicare questi bottoni colle estremità del filo di un galvanometro.

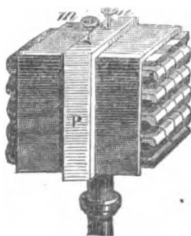



Fig. 651.

Fig. 652.

776. **Termo-moltiplicatore di Melloni.** — La pila termo-elettrica di Nobili, costruita come mostra la figura 651, e combinata con un galvanometro, divenne per opera di Melloni l'apparecchio termo-elettrico

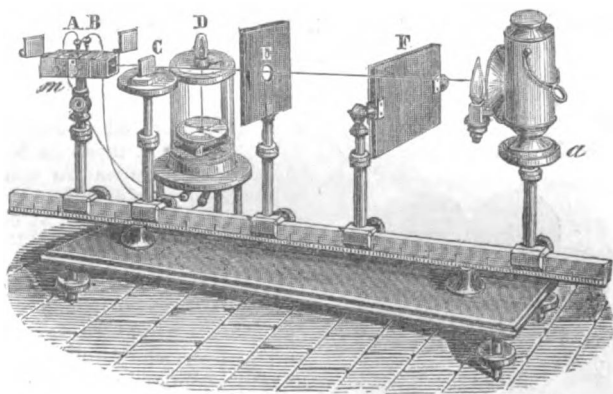



Fig. 653.

il più sensibile che si conosca. Questo scienziato, che chiamò tale apparecchio col nome di *termo-moltiplicatore*, lo dispose come mostra la figura. 653.

Sopra una tavola di legno sostenuta da quattro viti da livello è fissato un regolo di ottone della lunghezza di un metro, e diviso in centimetri. Su questo regolo si collocano, a distanze variabili per mezzo di viti di pressione, i diversi pezzi di cui è composto l'apparato, cioè: un sostegno *a* sul quale si dispone una lampada di Locatelli o qualunque altra sorgente di calore, indi dei diaframmi F ed E, un secondo

sostegno C dove si collocano i corpi sui quali si esperimenta, e finalmente la pila termo-elettrica *m*. Vicino all'apparecchio trovasi un galvanometro D, munito di un filo grosso e corto, che comunica in A ed in B coi due poli della pila. La sensibilità di questo strumento è tale che il calore della mano, alla distanza di un metro, basta per isviluppare nella pila una corrente capace di far deviare l'ago del galvanometro. Abbiamo già fatto conoscere la graduazione di questo strumento (709), non che le importanti applicazioni che Melloni fece del suo termo-moltiplicatore allo studio del potere diatermano dei corpi (389 al 399) ed alla polarizzazione del calorico (582).

Per applicare il termo-moltiplicatore alla misura delle temperature, bisogna prima determinare la relazione che passa tra la deviazione dell'ago, e quindi l'intensità della corrente, e la differenza di temperatura delle saldature. Ciò fatto, quando sia conosciuta la temperatura delle saldature non esposte alla sorgente di calore, la deviazione dell'ago dà quella delle altre saldature, e per conseguenza la temperatura della sorgente.

CAPITOLO IX.

INTENSITA', CONDUCIBILITA' E VELOCITA' DELLE CORRENTI; CORRENTI DERIVATE

777. **Reostato.** — Il *reostato* serve ad aumentare od a diminuire la lunghezza del circuito percorso da una corrente, in modo da farle produrre sul galvanometro una deviazione determinata. Questo apparato, dovuto a Wheatstone, si compone di due cilindri paralleli, l'uno A, di ottone, l'altro B, di legno (figura 654). Quest'ultimo porta in tutta la sua lunghezza una scanalatura ad elice e termina alla estremità *a* con un anello di rame, al quale è fissata l'estremità di un filo di ottone. Questo filo, lungo 40 metri, si avvolge più o meno entro la scanalatura, passa sul cilindro A, e dopo un gran numero di giri intorno a questo cilindro, va a fissarsi alla estremità *c* del medesimo. Infine, due viti di pressione *n* ed *o*, le quali tengono fissi i conduttori della corrente che si vuol osservare, comunicano per mezzo di due lamine d'acciaio, l'una col cilindro di rame A, l'altra coll'anello *a*.

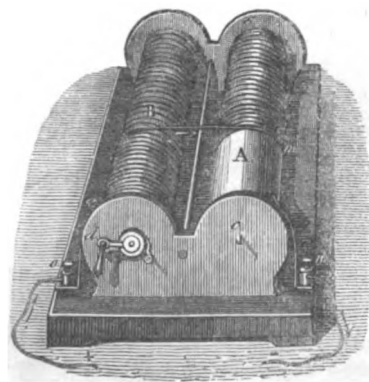



Fig. 654.

Ciò posto, quando una corrente entra in *o*, attraversa soltanto la porzione di filo avvolta sul cilindro B, ove le spire sono isolate dalla scanalatura; indi, arrivata sul cilindro A, il quale è di metallo ed a contatto col filo, la corrente passa direttamente da *m* in *n*. Quindi, se si vuol aumentare la lunghezza del circuito, basta girare la manovella *d* da destra a sinistra; se invece la si vuol diminuire, si applica la manovella all'asse *c*, e girando da sinistra a destra, si avvolge il filo sul cilindro A. Adunque in tal modo si può aumentare o diminuire ad arbitrio l'intensità della corrente, perchè si vedrà quanto prima (779) che questa intensità è in ragione inversa della lunghezza del circuito. Questa lunghezza poi è indicata in metri ed in centimetri da due aghi mossi sull'estremità dell'apparato non visibile nella figura, dai cilindri A e B, quando questi girano insieme.

778. **Bussola dei seni.** — La *bussola dei seni* è un galvanometro destinato a misurare le correnti intense per mezzo del quale però non è

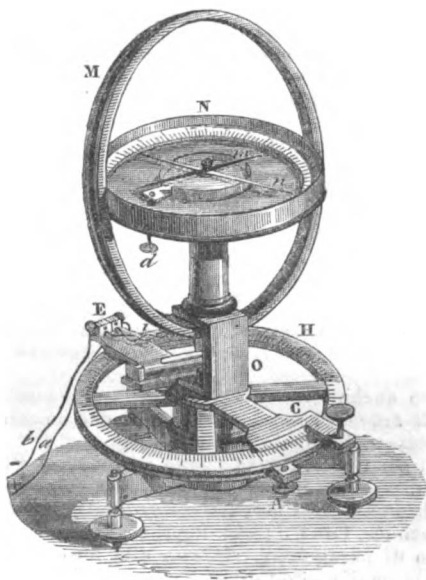



Fig. 655.

necessario di ricorrere ad una tavola di graduazione (709). Quest'apparato, dovuto a Pouillet, differisce dal galvanometro già descritto, perchè il filo di rame nel quale passa la corrente non fa attorno all'ago magnetizzato che un piccolissimo numero di giri, e talora anche un solo. Al centro di un cerchio orizzontale N (fig. 655) trovasi un ago magnetizzato *m*; un secondo ago *n*, di rame inargentato e mobile col primo al quale è fissato, serve a far conoscere la posizione dell'ago *m* sul cerchio graduato N. Un cerchio M di rame è disposto perpendicolarmente al cerchio orizzontale. In questo cerchio M si avvolge il

filo di rame nel quale passa la corrente. I due capi di questo filo, rappresentati in *i*, terminano ad un pezzo E, al quale terminano pure due fili di rame *a* e *b* comunicanti colla sorgente elettrica di cui si vuol misurare la corrente. Finalmente, i cerchi N ed M sono portati da un piede O, il quale può girare intorno ad un asse verticale che passa pel centro di un cerchio orizzontale fisso H.

Ciò posto, diretto il circuito galvanometrico M nel meridiano magnetico, e quindi nello stesso piano dell'ago, si fa passare la corrente nei fili *a* e *b*. Quando gli aghi sono deviati, si fa ruotare il circuito M fino a che coincida col piano verticale passante per l'ago magnetizzato *m*. Siccome allora l'azione direttrice della corrente si esercita perpendicolarmente alla direzione dell'ago magnetizzato, il calcolo dimostra che l'intensità della corrente è proporzionale al seno dell'angolo di deviazione di quest'ago, angolo che si misura sul cerchio H, per mezzo di un verniero portato dal pezzo C. Questo pezzo, fisso al piede O, serve a farlo girare per mezzo di un bottone A al quale è unito. Conosciuto l'angolo di

deviazione, e per conseguenza il suo seno, se ne deduce l'intensità della corrente, giacchè abbiamo ora veduto che questa intensità è proporzionale al seno.

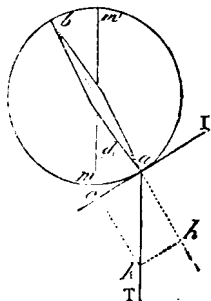



Fig. 656.

Per dimostrare che l'intensità della corrente è proporzionale al seno dell'angolo di deviazione, suppongasi che *mm'* (fig. 656) siano la direzione del meridiano magnetico, *d* l'angolo di deviazione, I l'intensità della corrente e T la forza direttrice della terra. Se si rappresenta con *ak* la direzione e l'intensità di quest'ultima forza, si ponno ad essa sostituire le due componenti *ah* e *ac* (29). Ora, siccome la prima non esercita alcuna azione direttrice sull'ago, la componente *ac* è la sola che faccia equilibrio alla forza I; bisogna adunque che sia $I = ac$. Ma il triangolo rettangolo *ack* dà $ac = ak \cos cak$, ovvero $ac = T \sin d$, giacchè l'angolo *cak* è il complemento dell'angolo *d*, ed *ak* è eguale a T; adunque si ha $I = T \sin d$, come si voleva dimostrare.

Si è costrutto anche una specie di reometro conosciuto sotto il nome di *bussola delle tangenti*, perchè l'intensità della corrente è proporzionale alla tangente dell'angolo di deviazione.

779. **Leggi di Ohm sull'intensità delle correnti.** — Chiamansi *correnti di eguale intensità* quelle che nelle stesse condizioni producono la stessa deviazione sullo stesso ago magnetizzato. Moltissimi fisici e particolarmente Ohm, Fechner, Lenz, Jacobi, Pouillet, Faraday, De La Rive e Magnus, cercarono di paragonare, rispetto alla loro intensità, le correnti elettriche che provenivano da diverse sorgenti. Queste ricerche, le quali furono istituite per mezzo del galvanometro, della bussola dei seni, di quella delle tangenti, del reostato ed anche del voltametro (696), condussero alle stesse leggi per le correnti termo-elettriche e per le correnti idro-elettriche. Solamente che per le prime non si tien conto dell'influenza conduttrice della pila, perchè essendo metallica e di piccole dimensioni, la sua resistenza è trascurabile; così però non è per le correnti idro-elettriche. In questo caso, bisogna tener conto della resistenza della pila, il che Pouillet fece, aggiungendo alla lunghezza del filo interpolare la lunghezza del filo che, colla sua resistenza, produrrebbe sulla corrente la stessa diminuzione d'intensità che produce la pila colla sua debole conducibilità. Il circuito interamente metallico che allora

si suppone percorso dalla corrente è quello che Pouillet denominò *corrente ridotta.*

Ciò posto, ecco le diverse leggi che presentano le correnti elettriche, qualunque sia la sorgente da cui hanno origine:

1.ª *L'intensità di una corrente è direttamente proporzionale alla somma delle forze elettro-motrici che sono in attività nel circuito.*

2.ª *L'intensità è la stessa in tutti i punti del circuito.*

3.ª *Essa è in ragione inversa della lunghezza ridotta di tutte le parti del circuito.*

4.ª *Essa è in ragione inversa della sezione e della conducibilità del filo che trasmette la corrente.*

Da queste ultime due leggi deriva che l'intensità rimane costante quando la sezione del filo varia proporzionalmente alla sua lunghezza.

Pouillet trovò che nei liquidi come nei solidi l'intensità della corrente è in ragione diretta della sezione della colonna liquida attraversata dalla corrente, ed in ragione inversa della sua lunghezza, purchè quest'ultima sia eguale almeno a cinque o sei volte il diametro della sezione.

Le leggi che precedono sono conosciute sotto il nome di *leggi di Ohm,* perchè questo dotto fu il primo a farle conoscere nel 1827. Furono trovate dietro considerazioni teoriche, ma Lenz e Jacobi, e più tardi Pouillet, le verificarono coll'esperienza.

Rappresentando con E la somma totale delle forze elettro-motrici in attività nella pila, con R la somma totale delle resistenze che incontra l'elettricità per propagarsi, e con I l'intensità della corrente, Ohm arrivò all'espressione $I = \frac{E}{R}$.

Questa formola, che comprende la prima e la terza delle leggi suesposte, è generale, tanto se il circuito che riunisce i due poli sia omogeneo o no.

Se si rappresenta con L la lunghezza del filo metallico che riunisce i poli, con r la lunghezza del filo che può rimpiazzare la resistenza della pila o la *lunghezza ridotta* di questa, la formola diventa $I = \frac{E}{L + r}$.

Nelle pile termo-elettriche, in cui si può trascurare la resistenza della pila, tutti i pezzi di essa, essendo metallici e di pochissima lunghezza, la formola riducesi ad $I = \frac{E}{L}$; vale a dire che l'intensità della corrente è semplicemente in ragione inversa della lunghezza del filo congiuntore.

Nel caso di n coppie eguali, associate in batteria, chiamando E la forza elettro-motrice di una sola coppia, ed r la sua resistenza, Ohm ammette che si ha $I = \frac{nE}{L + nr}$; formola che può scriversi $I = \frac{E}{\frac{L}{n} + r}$. Se il numero n di coppie è grandissimo, ed L piccolissimo, si può trascurare la frazione $\frac{L}{n}$, e la formola riducesi ad $I = \frac{E}{r}$; vale a dire che l'intensità è allora la stessa che per una sola coppia.

780. **Conducibilità per le correnti idro-elettriche.** — La facoltà conduttrice dei corpi per le correnti idro-elettriche varia a seconda dell'energia delle correnti stesse e dei conduttori che esse hanno già attraversati. Infatti De La Rive riconobbe che le correnti attraversano tanto più facilmente le lamine metalliche ed i liquidi, quanto maggiore è il

numero di quelli che han già attraversato; questa proprietà è analoga a quella che si osserva nelle facoltà diatermiche (394).

Per mezzo del voltametro (696), Davy trovò che la conducibilità di uno stesso metallo è proporzionale alla sezione del filo in ragione inversa della sua lunghezza. Becquerel verificò l'esattezza di questa legge per mezzo di un galvanometro a due fili. Riguardo alla conducibilità elettrica dei diversi metalli, Ed. Becquerel trovò che a zero le loro facoltà conduttrici relative ponno esser rappresentate dai numeri seguenti: argento ricotto, 100; rame ricotto, 91,5; oro ricotto, 64,9; zinco, 24; stagno, 14; ferro, 12,3; piombo, 8,9; platino, 7,9; mercurio, 1,739.

Pouillet, paragonando fra loro le facoltà conduttrici dei diversi liquidi, e prendendo per unità quella dell'acqua distillata, giunse ai risultati seguenti: acqua contenente $\frac{1}{20000}$ d'acido azotico, 6; acqua satura di solfato di zinco, 167; acqua satura di solfato di rame, 400. La facoltà conduttrice dei liquidi è immensamente minore di quella dei metalli; giacchè, secondo lo stesso scienziato, il rame conduce 16 milioni di volte più di una soluzione satura di solfato di rame, il che equivale a 6 miliardi e 400 milioni di volte più dell'acqua distillata.

Finalmente, si osservò che l'innalzamento di temperatura aumenta la facoltà conduttrice dei liquidi, mentre produce l'effetto contrario sui metalli.

La conducibilità dei liquidi composti fu considerata finora, dalla maggior parte dei fisici, soltanto come una conducibilità *elettrolitica*, dovuta cioè alla decomposizione chimica (695). Però, Faraday, facendo conoscere la sua legge generale delle decomposizioni elettrolitiche (697), aveva annunciato che si dovrebbero fare delle restrizioni pel caso in cui i liquidi fossero capaci di condurre l'elettricità senza subire decomposizione.

La conducibilità puramente elettrolitica è stata sostenuta principalmente da Buff; però Foucault dimostrò recentemente, per mezzo di delicate esperienze, che i liquidi possiedono anche una conducibilità propria, o *conducibilità fisica,* come i metalli; solo questa è molto più debole della conducibilità elettrolitica, ma può però avere una sensibile influenza sugli effetti chimici delle correnti e sulla legge di Faraday.

781. **Velocità dell'elettricità.** — Furono fatti numerosi tentativi onde determinare la velocità di propagazione dell'elettricità nei fili metallici. Wheatstone, nel 1834, fece uso di uno specchio girante simile a quello già descritto parlando della velocità della luce (fig. 288, pag. 341). Dal ritardo che subiva, in un dato tempo, l'immagine della scintilla prodotta da una bottiglia di Leyda, quando l'elettricità passava in un lungo filo, Wheatstone trovò che l'elettricità, in un filo di ottone del diametro di 2 millimetri, si propagava con una velocità di 460 000 chilometri per secondo, velocità che corrisponde ad una volta e mezzo quella della luce. Walker, in America, avendo nel 1840 istituite alcune ricerche allo stesso scopo, per mezzo di segnali trasmessi dai fili di telegrafi elettrici, trovò che la velocità della elettricità era di 30 000 chilometri per secondo, numero 15 volte più piccolo del precedente.

Nel 1850, Fizeau e Gounelle, esperimentando sopra fili telegrafici da Parigi ad Amiens ed a Rouen, giunsero ai risultati seguenti:

1.° In un filo di ferro del diametro di 4 millimetri e mezzo, l'elettricità si propaga con una velocità di 101 700 chilometri per secondo.

2.° In un filo di rame del diametro di 2 millimetri e mezzo, la velocità della elettricità è di 177 700 chilometri.

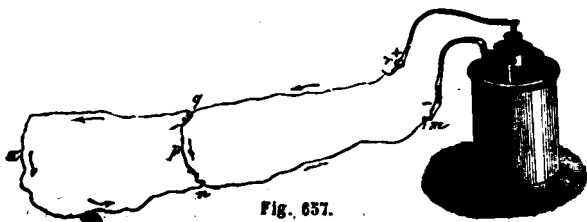
3.° Le due elettricità si propagano colla stessa velocità.

4.° Il numero e la natura degli elementi di cui la pila è formata, e quindi la tensione dell'elettricità e l'intensità della corrente, non hanno influenza sulla velocità di propagazione.

5.° Nei conduttori di natura diversa, le velocità non sono proporzionali alle conducibilità elettriche.

Nelle esperienze istituite con fili di rame fra gli osservatori di Greenwich e di Edimburgo, si trovò che la velocità dell'elettricità era di 12 200 chilometri; e fra gli osservatori di Greenwich e di Bruselle, per mezzo di un filo sotto-marino, si trovò soltanto 4 300 chilometri; ma in quest'ultimo caso il filo di rame coperto di gutta-percha era in gran parte immerso nel mare. Faraday fece conoscere che questa enorme differenza è dovuta all'azione per influenza che il filo esercita attraverso alla gutta-percha sul liquido nel quale è immerso (762). Adunque i numeri trovati da Fizeau e Gounelle sono quelli che sembra rappresentino con maggior fedeltà la velocità dell'elettricità nei fili metallici.

782. **Correnti derivate, legge della derivazione.** — Si immagini la corrente di una pila, per es., di un elemento di Bunsen, la quale percorra un filo di rame *rqpnm* (fig. 657); e si consideri il caso in cui si congiungano due punti qualunque *n* e *q* di questo circuito per mezzo

Fig. 657.

di un secondo filo *nxq*. Allora la corrente della pila, biforcandosi al punto *q*, si divide in due altre correnti, una che continua a propagarsi nella direzione *qpnm*, e l'altra che prende la direzione *qxnm*.

Ciò posto, i due punti *q* ed *n*, d'onde parte ed ove termina il secondo conduttore, ricevettero il nome di *punti di derivazione*, l'intervallo *qpn* che li separa, quello di *distanza di derivazione*, ed il filo *qxn* quello di *filo di derivazione*. La corrente che percorre il filo *qxn* chiamasi *corrente derivata;* la corrente che percorre il circuito *rqpnm*, prima della derivazione, è la *corrente primitiva;* quella che attraversa lo stesso conduttore dopo la derivazione è la *corrente parziale;* finalmente chiamasi *corrente principale* la totalità della nuova corrente che percorre tutto l'insieme del circuito dopo che venne aggiunto il filo di derivazione.

Pouillet, il quale fece numerose ricerche intorno alle correnti derivate, giunse a questa legge che *l'intensità della corrente derivata è direttamente proporzionale all'intensità della corrente primitiva ed all'intervallo di derivazione, ma è in ragione inversa della sezione del filo in questo intervallo e della sua conducibilità.*

CAPITOLO X.

ELETTRICITA' ANIMALE; APPLICAZIONE DELL'ELETTRICITA' ALLA TERAPEUTICA

783. **Corrente propria degli animali.** — Abbiamo già veduto come l'elettricità animale sia stata un soggetto di viva discussione tra i fisiologi e i fisici (663 e 664). Dopo Galvani, si fecero numerose ricerche su questo argomento, specialmente da Aldini, Humboldt, Lehot, Nobili, Marianini e Matteucci.

Nobili, pel primo, mediante il galvanometro, osservò nelle rane preparate come quella di Galvani (fig. 525, pag. 554), una corrente che egli chiamò *corrente propria* della rana. Per ciò, egli immergeva i membri crurali della rana in una capsula piena d'acqua salata, indi i nervi lombari in una seconda capsula piena essa pure della stessa soluzione, e chiudeva il circuito immergendo in ciascuna delle capsule uno dei capi del filo di un galvanometro assai sensibile. In tal modo otteneva una deviazione di 10 a 30 gradi che indicava una corrente diretta dai piedi alla testa dell'animale.

Matteucci ottenne effetti analoghi formando delle pile di cosce di rane. Per ciò, pigliava la metà delle cosce di rane più vicine alla gamba, e spogliatele della pella, lasciando intatto il loro nervo lombare, le disponeva l'una in seguito all'altra, in modo che il nervo di ciascuna si appoggiasse ai muscoli della seguente. Chiudendo in seguito il circuito col filo di un galvanometro, Matteucci ottenne con otto metà di cosce una deviazione di 12 gradi.

Lo stesso fisico formò anche alcune pile di cosce di rana togliendo loro il nervo lombare, e facendo comunicare l'interno del muscolo di ciascuna coscia colla superficie esterna della coscia seguente. Nei muscoli di questi animali, vivi od uccisi recentemente, osservò sempre, quando il circuito sia chiuso, una corrente diretta dall'interno del muscolo alla sua superficie. Matteucci indica questa corrente col nome di *corrente muscolare* e la distingue dalla *corrente propria* della rana. In questo animale egli trovò sempre contemporaneamente le due correnti, mentre negli altri animali non trovò che la corrente muscolare.

Du Bois-Reymond fece conoscere recentemente alcune nuove ricerche sulle correnti muscolari nell'uomo. Per queste esperienze, attesa la grande resistenza del corpo umano, si dovette far uso di un galvanometro a 24 000 giri. Du Bois-Reymond verificò che facendo comunicare i due capi del filo galvanometrico con due punti simmetrici del corpo, per es., colle due mani o coi due piedi, il galvanometro fornisce dapprima alcune indicazioni assai irregolari; però ben presto si produce una corrente, la cui direzione rimane costante quando si ripeta l'esperienza parecchie volte, anche ad intervalli di tempo lontani. Questa corrente non ha la stessa intensità in tutti gli individui, e può anche cangiare direzione in uno stesso soggetto, solo però ad epoche lontane, giacchè talvolta conserva una direzione costante per parecchi mesi.

784. **Pesci elettrici.** — Chiamansi *pesci elettrici* quei pesci i quali hanno la singolare proprietà di produrre, quando siano irritati, in quelli che li toccano, alcune scosse paragonabili a quelle della bottiglia di Leyda. Sonvi parecchie specie di pesci elettrici, tra i quali i più conosciuti sono la torpedine, il gimnoto ed il siluro. La torpedine, assai comune nel Mediterraneo, è stata studiata con molta cura dai Becquerel e Breschet, in Francia, e da Matteucci, in Italia. Il gimnoto fu studiato da Humboldt e da Bompland, nell'America del Sud, e da Faraday, in Inghilterra, il quale se ne procurò di vivi.

La scossa che danno i pesci elettrici serve loro di arme offensiva e difensiva; essa dipende dalla loro volontà, ma indebolisce gradatamente a misura che si rinnova e che questi animali perdono della loro vitalità, perchè l'azione elettrica produce prontamente in essi uno spossamento considerevole.

Questa scossa è molto violenta. Secondo Faraday la scossa data dal gimnoto equivale a quella di una batteria di 15 bottiglie, la superficie totale delle cui armature fosse di due metri quadrati ed un quarto; il che spiega come qualche volta i cavalli soccombano sotto le scariche reiterate dei gimnoti.

Parecchie esperienze provano che queste scosse sono prodotte dall'elettricità ordinaria. Infatti, se toccando con una mano il dorso dell'animale, si pone l'altra mano od un'asta metallica a contatto col ventre, si risente una violente scossa nelle mani e nelle braccia, mentre non si risente scossa alcuna toccandolo con un corpo isolante. Inoltre, quando si fanno comunicare i due capi del filo del galvanometro, l'uno col dorso, l'altro col ventre dell'animale, a ciascuna scarica l'ago è deviato, e ritorna immediatamente allo zero, il che indica una corrente istantanea; inoltre, il verso della deviazione mostra che la corrente va dal dorso al ventre del pesce. Infine, se si fa passare la corrente di una torpedine in un'elice nel centro della quale siavi una piccola verga di acciaio, questa vien magnetizzata pel passaggio della scarica.

Per mezzo del galvanometro, Matteucci verificò i fatti seguenti:

1.° Quando una torpedine è vivace può dare la scossa con un punto qualunque del suo corpo; ma a misura che la vitalità dell'animale si esaurisce, i punti coi quali può dare la scossa si avvicinano sempre più all'organo che serve di sede allo sviluppo dell'elettricità.

2.° Un punto qualunque del dorso è sempre positivo relativamente al punto corrispondente del ventre.

3.° Di due punti del dorso inegualmente lontani dall'organo elettrico, il più vicino fa sempre l'ufficio di polo positivo, ed il più lontano quello di polo negativo. Il contrario avviene pei punti del ventre.

L'organo in cui si produce l'elettricità nella torpedine è doppio e formato di due parti simmetriche situate ai lati del capo, ed attaccate alle ossa del cranio colla loro faccia interna. Queste due parti si riuniscono fra loro al davanti delle ossa del naso, ma sono separate dalla pelle per mezzo di una forte aponeurosi. Secondo Matteucci ciascuno di questi organi è formato da un numero considerevole di piccole masse prismatiche situate le une accanto alle altre e che vanno dalla faccia esterna all'interna, in modo che la loro sezione perpendicolare agli spigoli del prisma offre l'aspetto delle cellule di un raggio di alveare. Questi prisma, perpendicolarmente ai loro spigoli, sono divisi da una serie di diaframmi i quali formano una serie di piccole vescichette iden-

tiche fra loro e piene di 9 parti d'acqua, di una parte di albumina e di piccola quantità di salmarino.

Matteucci, basandosi sull'esperienza seguente, riguarda ciascuna di queste vescichette come l'organo elementare dell'apparato elettrico. Egli toglie dall'apparato di una torpedine viva una massa di queste vescichette della grossezza della capocchia di un grosso spillo, e la pone a contatto col nervo di una rana morta, preparata nella maniera di Galvani. Allora osserva che quando si eccita questa massa vescicolare stuzzicandola con un corpo acuto, nella rana si manifestano delle contrazioni.

Matteucci cercò anche l'influenza che il cervello può esercitare sulla scarica. Per ciò pose a nudo il cervello di una turpedine viva, ed osservò che i tre primi lobi possono essere irritati senza che si produca la scarica, e che, qualora essi siano stati levati, l'animale possiede ancora la facoltà di dare la scossa. Il quarto lobo, all'incontro, non può essere irritato senza che tosto si produca la scarica, e se viene levato, sparisce tutto lo svolgimento di elettricità, sebbene gli altri lobi rimangano intatti. Bisogna adunque ammettere che la sorgente prima dell'elettricità elaborata dalla torpedine sia il quarto lobo, dal quale essa verrebbe trasmessa per mezzo dei nervi ai due organi suddescritti, i quali farebbero l'ufficio di moltiplicatori. Nel silaro pare sia nel cervello il punto di partenza dell'elettricità; ma nel gimnoto, si trova collocato nella coda.

Argomentando dalla considerevole quantità di elettricità sviluppata nell'economia di certi pesci, alcuni fisici indagarono se una simile elaborazione di elettricità avvenisse anche negli altri animali, non più in quantità sufficiente per dare delle scosse paragonabili a quelle della bottiglia di Leyda, ma bastante per produrre delle azioni lente, ed aiutare le funzioni essenziali della vita, come le secrezioni, la digestione, ecc.

785. **Applicazione dell'elettricità alla terapeutica.** — Le prime applicazioni dell'elettricità alla medicina ascendono alla scoperta della bottiglia di Leyda. Sembra che Nollet e Boze siano stati i primi fisici i quali abbian pensato all'applicazione dell'elettricità, e ben presto la puntura e le frizioni elettriche divennero una panacea universale; ma bisogna convenire che le prime esperienze non corrisposero alle speranze degli esperimentatori.

Subito dopo la scoperta dell'elettricità dinamica, Galvani ne propose l'applicazione alla medicina; in seguito moltissimi fisici e fisiologici si occuparono di questo argomento, e non pertanto regna ancora oggidì una grande incertezza sugli effetti reali dell'elettricità, sui casi in cui si debba applicarla e finalmente sul miglior modo di applicazione. Tuttavia i pratici concordano nel preferire l'uso delle correnti a quello dell'elettricità statica, ed eccetto un piccolo numero di casi, le correnti interrotte alle correnti continue. Finalmente, avvi ancora una scelta da fare fra le correnti della pila e le correnti di induzione: inoltre gli effetti di queste ultime sono differenti a norma che si usano delle correnti di induzione di primo ordine o di secondo ordine (752).

Infatti le correnti di induzione, quantunque assai intense, avendo un'azione chimica molto debole, quando attraversano gli organi non vi producono gli effetti chimici delle correnti della pila, e quindi non tendono a produrvi la stessa disorganizzazione. Inoltre, per l'elettrizza-

zione dei muscoli della faccia, si devono preferire le correnti di induzione, perchè il dottor Duchenne, di Boulogne, il quale fece numerose ricerche sulle applicazioni mediche della elettricità, constatò che queste correnti non agiscono che debolmente sulla retina, mentre le correnti della pila agiscono assai vivamente su di essa, e ponno esserle di grave nocumento, come lo provarono alcuni tristi accidenti. Quanto alle correnti indotte dei diversi ordini, secondo il dottor Duchenne, mentre la corrente indotta di primo ordine determina vive contrazioni muscolari ed ha poco effetto sulla sensibilità cutanea, la corrente indotta di secondo ordine, al contrario, esalta la sensibilità cutanea a tal punto, che si deve proscriverne l'uso nelle persone fornite di pelle assai irritabile.

Da quanto precede bisogna conchiudere che non si debbono applicare le correnti alla terapeutica se non con profonda cognizione delle loro diverse proprietà. Inoltre, bisogna usarne con molta prudenza, perchè la loro azione troppo prolungata può produrre gravi accidenti. Matteucci, nelle sue *Lezioni sui fenomeni fisici dei corpi viventi*, così si esprime: « Bisogna sempre incominciare dall'usare una corrente assai debole. Questa precauzione mi sembra ora più importante di quello che avrei creduto prima che vedessi un paralitico preso da convulsioni veramente tetaniche sotto l'azione della corrente fornita da un solo elemento. Abbiasi cura di non prolungarne troppo il passaggio, principalmente se la corrente è energica. Si applichi la corrente interrotta piuttosto che la continua; ma, dopo *venti* o *trenta* scosse al più, si lascino all'ammalato alcuni istanti di riposo. »

Si immaginarono parecchi apparati onde applicare alla terapeutica le correnti interrotte, ottenute tanto dall'induzione delle correnti, che dall'induzione delle calamite, o dalla pila stessa. Sembra che il primo apparato di tal genere sia stato costruito a Parigi dal dottor Rognetta, italiano. In seguito, Masson, Dujardin, Glœsner, Breton, Duchenne, Ruhmkorff, ecc., fecero conoscere diversi apparati di simil genere. Noi ne descriveremo tre: due dovuti al dottor Duchenne, uno dei quali dà la corrente indotta di primo ordine, e l'altro quella di primo o di secondo ordine ad arbitrio; il terzo apparato, inventato da Pulvermacher, dà la corrente ordinaria della pila, ma interrotta e con grande tensione.

786. **Apparato elettro-voltiano del dottor Duchenne.** — Questo apparato si compone di un rocchetto a due fili, analogo a quello già descritto parlando delle correnti di induzione (743), e rinchiuso in astuccio di ottone V (fig. 658). Questo rocchetto è fisso su di una scatola di legno nella quale sonvi due cassetti. Il primo contiene una bussola, la quale fa l'ufficio di galvanometro, e serve a misurare l'intensità della corrente induttrice per mezzo della deviazione che questa imprime all'ago. Il secondo contiene una pila a carbone disposta in modo da presentare il minor volume possibile. L'elemento zinco Z ha esso pure la forma di un piccolo cassetto nel quale avvi una soluzione di salmarino ed una piastra rettangolare di coke simile a quello che si adopera nella pila di Bunsen. Al centro del carbone è praticata una piccola cavità O, nella quale si versa una piccola quantità di acido azotico che viene assorbito. Due piccole lamine di rame L ed N comunicano, la prima collo zinco e rappresenta il polo negativo; la seconda col carbone e rappresenta il polo positivo. Quando i cassetti sono chiusi, i poli L ed N trovansi in contatto colle estremità inferiori dei bottoni

di rame E e C; da questi ultimi partono due fili EF di rame e CB, i quali conducono la corrente ai pezzi H e G, il primo dei quali è mobile. Quando esso è abbassato, la corrente passa; ma se è sollevato, come lo mostra la figura, la corrente è interrotta.

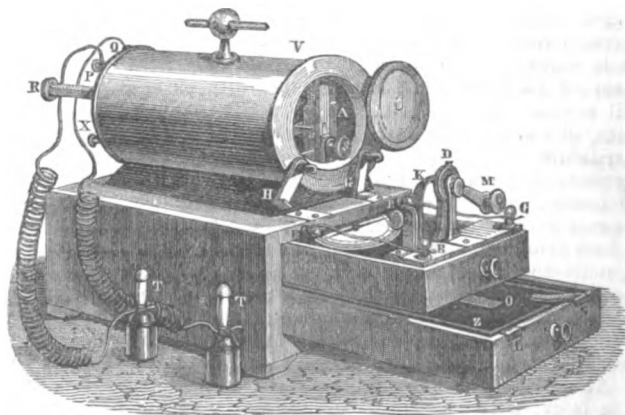



Fig. 638 (a. = 35).

Siccome la corrente indotta si produce solo al momento in cui la corrente induttrice incomincia o finisce, bisogna che quest'ultima subisca delle intermittenze continue. Nell'apparato del dottor Duchenne, queste intermittenze ponno essere rapide o lente ad arbitrio. Per ottenere delle intermittenze rapide si fa passare la corrente in un pezzo A di ferro dolce, il quale oscilla assai velocemente sotto l'influenza di un fascio di fili di ferro dolce, che è collocato nell'asse del rocchetto e si magnetizza temporariamente quando passa la corrente. Questo pezzo A col suo moto oscillatorio, interrompe o ristabilisce la corrente induttrice, e dà quindi origine alla corrente indotta.

Per ottenere le intermittenze lente, si fissa il pezzo oscillante per mezzo di una piccola asta *a*, indi, invece di far passare la corrente nel pezzo A, la si fa passare in una lamina elastica K e nei denti di una ruota di legno D i quali sono di metallo e comunicano col piede I e col bottone C. Girando la manovella M, ogni qualvolta la lamina K cessa di toccare un dente, la corrente resta interrotta; e siccome la ruota D ha quattro denti, si ottengono quattro intermittenze per ogni giro, il che permette, facendo girare più o meno velocemente, di variare ad arbitrio in un tempo dato il numero delle intermittenze e quindi delle scosse.

Per trasmettere le scosse si fanno arrivare i capi del filo indotto a due bottoni P e Q, ai quali si fissano due lunghi fili di rame coperti di seta e terminati da due eccitatori a manici di vetro T, T. Questi eccitatori si applicano agli organi in modo da far passare la corrente in quella parte del corpo che si vuole.

Finalmente, l'apparato è munito di un *graduatore* destinato a far variare l'intensità della corrente. Questo graduatore consiste in un ci-

lindro di rame che avvolge il rocchetto, e che si può far iscorrere più o meno su di esso, come un cassetto, per mezzo di un'asta graduata R. La massima intensità ha luogo quando il graduatore sia disposto in modo da scoprire tutto il rocchetto, e la minima quando lo ricopre. Questa influenza del cilindro-avviluppante, osservata da Dore e da Duchenne, deriva da correnti di induzione che si producono nella sua massa.

787. **Apparato elettro-magnetico del dottor Duchenne.** — Duchenne, nella sua pratica, adopera anche un secondo apparato nel quale, per isviluppare la corrente, non fa uso della pila, ma bensì dell'azione induttrice di una forte calamita, come nell'apparato di Clarke (754). La calamita KK (fig. 659) ha due rami congiunti alle loro estremità posteriori per mezzo di un'armatura di ferro dolce; davanti alle loro estre-

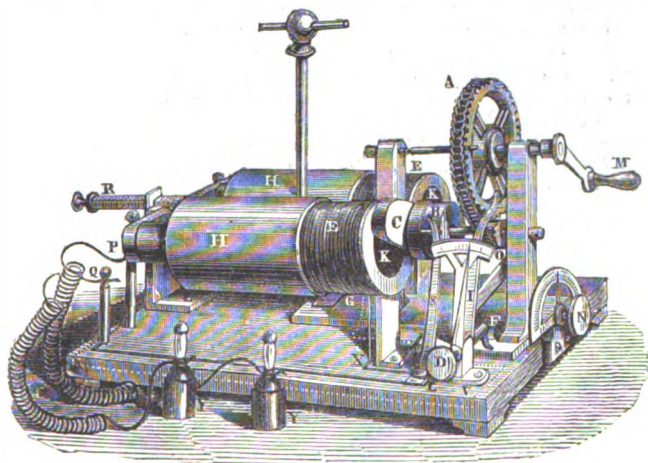



Fig. 659 (a. = 36).

mità anteriori avvi un'armatura C, pure di ferro dolce, che può girare su di un asse orizzontale, al quale è trasmesso il movimento per mezzo di un rocchetto O, di una grande ruota A, di una catena di Vaucanson e di una manovella M.

Sui due rami della calamita si avvolge un filo di rame coperto di seta destinato a ricevere l'induzione della calamita; indi, sul primo filo, un secondo EE destinato a ricevere la corrente indotta di secondo ordine.

Ciò posto, quando si imprime al pezzo C un movimento di rotazione più o meno rapido, questo pezzo, magnetizzandosi davanti ai poli della calamita KK, esercita sulla distribuzione del loro magnetismo una reazione, la quale produce nel primo filo una corrente di induzione di primo ordine, mentre questo sviluppa in pari tempo, nel filo EE, una corrente indotta di secondo ordine. Queste correnti ponno esser raccolte separatamente per mezzo di un sistema di due pezzi P o Q, che ciascuno è doppio, ma dei quali, per ciascun sistema, un solo è visibile nella figura. In seguito la corrente, per mezzo di fili di rame av-

volti ad elice, si porta sopra due eccitatori Y, Y, che si tengono in mano per mezzo di due manici di vetro, e si applicano ad arbitrio sulle parti ammalate onde farvi passare la corrente. Le intermittenze necessarie alla produzione della corrente indotta si ottengono per mezzo di un commutatore B, analogo a quello dell'apparato di Clarke, e di una serie di pezzi S, I, D, F, che noi ometteremo di descrivere.

Finalmente, si regola l'intensità delle scosse per mezzo di un bottone a vite N, che serve ad avvicinare il pezzo C alla calamita o ad allontanarnelo. Il regolatore principale però si compone di due cilindri di rame H, H che avvolgono i rocchetti e ponno scoprirne una porzione più o men grande, secondo la deviazione che si imprime ad un'asta R, alla quale sono fissi. Le scosse raggiungono la loro minima intensità quando i cilindri ricoprono interamente i rocchetti, e la massima quando questi sono interamente scoperti, fenomeni che hanno origine dalle correnti di induzione che si sviluppano nella massa dei cilindri.

Non potendo qui descrivere gli effetti terapeutici di questi apparati, ci limiteremo a dire che la loro efficacia venne constatata principalmente nella paralisi, e più particolarmente nelle paralisi saturnine; per maggiori particolari rimettiamo il lettore all'opera pubblicata dal dottor Duchenne sotto il titolo: *Dell'elettrizzazione localizzata e delle sue applicazioni alla fisiologia, alla patologia e alla terapeutica.*

788. **Catena galvanica di Pulvermacher.** — Pulvermacher immaginò recentemente una nuova pila rimarchevole per la sua grande tensione

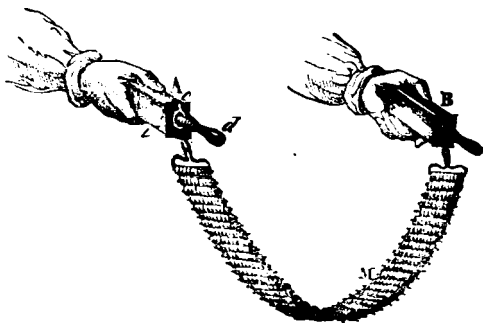



Fig. 660.

e per la facilità con cui la si fa agire. Questa pila, la quale ha molta analogia colla pila a colonna (666), è rappresentata dalla figura 660 al momento in cui si riceve la scossa. La figura 661 ne rappresenta le parti.

Essa è composta di una serie di piccoli cilindri di legno M ed N, sui quali si avvolgono l'uno accanto all'altro, senza toccarsi, un filo di zinco ed un filo di rame. A ciascuno de' suoi capi il filo di zinco *ab* del cilindro M si congiunge al filo di rame del cilindro N per mezzo di due piccoli anelli di rame fissi nel legno; poi lo zinco del cilindro N si congiunge nello stesso modo al rame del terzo cilindro, e così di seguito, in modo che costantemente lo zinco di ciascun cilindro forma col rame del cilindro successivo una coppia affatto paragonabile a quella

della pila a colonna. L'insieme forma così una specie di catena che si tiene per le due estremità e si immerge in un vaso di vetro contenente dell'aceto più o meno diluito con acqua. I piccoli cilindri di legno, che sono porosi, imbibendosi allora di liquido, fanno l'ufficio delle rotelle acidulate della pila a colonna, e l'azione chimica che si produce fra lo zinco e l'acido acetico dà origine ad una corrente tanto più intensa quanto maggiore è il numero delle coppie. Con una catena di 120 coppie si ricevono scosse fortissime.

Fig. 661.

Per interrompere la corrente, il che è necessario per le scosse, Pulvermacher fa uso di due armature A e B (fig. 660) alle quali sono fissati i due poli della pila M. L'armatura B non serve che a meglio stabilire il contatto colla mano; ma l'armatura A, che fa lo stesso ufficio, serve anche all'interruzione della corrente. Per ciò, essa contiene un piccolo movimento di orologeria il quale fa oscillare un pezzo metallico, in modo che il polo della pila ora comunica internamente colla parete dell'armatura ed ora non comunica. La rapidità delle oscillazioni, e quindi il numero delle scosse, può essere variato entro certi limiti, per mezzo di un piccolo reglatore *o* che si fa muovere a mano. Infine il movimento di orologeria si carica facendo girare la chiave *d* che serve di impugnatura all'armatura.

ELEMENTI

DI METEOROLOGIA E DI CLIMATOLOGIA

METEOROLOGIA

789. **Oggetto della meteorologia.** — Si chiamano *meteore* i fenomeni che si producono nell'atmosfera, e *meteorologia* la parte della fisica che ha per oggetto lo studio delle meteore.

Le meteore si distinguono: in *aeree*, che sono i venti, gli oragani e le trombe; in *acquee*, che comprendono le nebbie, le nubi, la pioggia, la rugiada, il sereno, la brina, la neve, la grandine; ed in meteore *luminose*, quali il fulmine, l'arcobaleno, le aurore boreali.

Meteore aeree.

790. **Direzione e velocità dei venti.** — I *venti* sono correnti che si manifestano nell'atmosfera in direzioni e con velocità assai variabili. Quantunque essi spirino in tutte le direzioni, se ne distinguono otto principali che sono: il *nord,* il *nord-est,* l'*est,* il *sud-est,* il *sud,* il *sud-ovest*, l'*ovest* e il *nord-ovest.* I marinai distinguono inoltre gli intervalli fra queste otto direzioni in quattro altre, il che forma in tutto 32 direzioni, che si indicano rispettivamente col nome di *rombi.* La traccia di questi 32 rombi sopra un cerchio, in forma di stella, è conosciuta sotto il nome di *rosa dei venti.*

La direzione del vento si determina per mezzo di banderuole, e la loro velocità viene misurata dall'*anemometro.* Chiamasi così un piccolo mulino ad ali che il vento fa girare; dal numero dei giri fatti in un tempo dato si deduce la velocità. Nei nostri climi, la velocità media è di 5 a 6 metri per secondo. Con una velocità di 2 metri, il vento è moderato; con 10 metri è fresco; con 20 metri è forte; con 25 a 30 metri è burrasca; e con 30 a 40 metri è uragano.

791. **Cause dei venti.** — I venti hanno per causa uno squilibrio avvenuto in qualche parte dell'atmosfera, squilibrio che risulta sempre da una differenza di temperatura fra i paesi vicini. Per es., se la temperatura del suolo aumenta sopra una certa estensione, l'aria in contatto con esso si riscalda, si dilata ed ascende verso le alte regioni dell'atmosfera, ove si diffonde producendo dei venti che spirano dalle regioni calde verso le fredde. Inoltre, trovandosi in pari tempo tolto l'equilibrio al livello del suolo, per l'eccesso di peso che si produce la-

teralmente sugli strati superiori dell'atmosfera, a motivo dell'aria che vi si è riservata, ne risultano, negli strati inferiori, delle correnti in senso contrario delle prime.

792. **Venti regolari, venti periodici e venti variabili.** — Dalla direzione più o meno costante secondo la quale soffiano i venti, si ponno dividere in tre grandi classi: *venti regolari, venti periodici* e *venti variabili*.

1.° Chiamansi *venti regolari* quei venti che soffiano tutto l'anno in una direzione sensibilmente costante. Questi venti, conosciuti anche sotto il nome di *venti alizei*, si osservano continuamente lungi dalle coste, nelle regioni equatorali, ove spirano dal nord-est al sud-ovest nell'emisfero boreale e da sud-est a nord-ovest nell'emisfero australe. Regnano ai due lati dell'equatore fino alla latitudine di 30 gradi.

Siccome i venti alizei hanno necessariamente per causa, come gli altri venti, alcune variazioni di temperatura nell'atmosfera, si spiegano col riscaldamento che si produce dall'oriente verso l'occidente per la rotazione della terra. Per effetto di questo riscaldamento, l'aria delle regioni equatoriali, elevandosi nell'atmosfera, è rimpiazzata dall'aria più densa giungente dai poli verso l'equatore. Di conseguenza, si producono costantemente, in ciascun emisfero, due correnti di senso contrario: l'una, d'aria calda, diretta dall'equatore verso il polo, e occupante le alte regioni dell'atmosfera; l'altra, d'aria fredda, diretta dal polo verso l'equatore e occupante le regioni inferiori, a causa della sua maggiore densità. Se la terra fosse immobile, queste due correnti avanzerebbero in ciascun punto del golbo secondo uno stesso meridiano; ma non può essere così a causa della rotazione della terra dall'occidente verso oriente. Infatti, l'atmosfera partecipando a questo movimento, a misura che la corrente partita dal polo avanza verso il sud, penetra negli strati d'aria animati da una velocità di rotazione maggiore della sua; avanza dunque verso l'oriente più lentamente che non gli strati che attraversa. Di conseguenza, si piega verso l'ovest tanto più quanto meglio si avvicina all'equatore e da ciò un vento soffiante da nord-est. Insomma, la corrente polare soffia dapprima da nord, poi da nord-est e finalmente dall'est; tale è, nei due emisferi, l'origine dei venti alizei.

Nelle alte regioni dell'atmosfera, un fenomeno simile si produce, ma in senso contrario: la corrente partita dall'equatore, avanzandosi verso il nord, va sempre, a cagione della sua più grande velocità, inchinandosi verso l'est, e tende a trasformarsi di più in più in vento d'ovest, da sud che è dapprima.

Nella zona torrida, queste due correnti restano sovrapposte e non si mescolano; ma nelle zone temperate, esse si scontrano e si mescolano, e di là le variazioni continue che subisce l'atmosfera nei nostri climi.

2.° I *venti periodici* sono venti che spirano regolarmente nella stessa direzione, alle stesse stagioni ed alle stesse ore della giornata; tali sono: il monsone, il simoun e la brezza.

Chiamasi *monsone* quel vento che soffia per sei mesi in una direzione e per sei mesi in un'altra; lo si osserva principalmente nel golfo d'Arabia, nel golfo del Bengal e nel mare della China. Questi venti sono diretti verso i continenti nell'estate ed in senso contrario nell'inverno.

Il *simoun* è un vento ardente che soffia dai deserti dell'Asia e dell'Africa, ed è caratterizzato dall'alta sua temperatura e dalle sabbie

che innalza nell'atmosfera e seco trasporta. Quando soffia questo vento, l'aria si oscura, la pelle si dissecca, la respirazione si accelera e la sete diviene ardente.

Questo vento è conosciuto sotto il nome di *sirocco* in Italia e ad Algeri, ove spira dal grande deserto di Sahara. Porta il nome di *khamsin* in Egitto, ove si fa sentire dalla fine di aprile fino in giugno. Onde preservarsi dagli effetti di una traspirazione interna troppo rapida occasionata da questo vento, gli indigeni dell'Africa si spalmano il corpo di materie grasse.

La *brezza* è un vento che spira sulle coste, dal mare verso la terra durante il giorno, e dalla terra verso il mare durante la notte; cioè dalla regione più fredda verso la più calda. Infatti, siccome il suolo durante il giorno si riscalda più del mare, l'aria dilatata sul continente più che sul mare si innalza ed è sostituita da una corrente d'aria più densa che giunge dal mare verso la terra. La brezza di mare incomincia dopo il levare del sole, aumenta fino a tre ore dopo mezzogiorno, diminuisce sin verso sera, e si cangia in brezza di terra dopo il tramonto del sole. Le brezze di mare e di terra si fanno sentire soltanto a piccole distanze dalle coste. Le brezze sono regolari tra i tropici, meno regolari nei nostri climi, e se ne osservano le tracce fino sulle coste della Groenlandia. Anche la vicinanza delle montagne dà origine a brezze periodiche diurne.

3.° I *venti variabili* sono venti che spirano ora in una direzione, ora in un'altra, senza che si possa constatare alcuna legge a cui siano soggetti. Nelle latitudini medie, la direzione dei venti è variabilissima; avanzando verso i poli, questa irregolarità aumenta, e, sotto la zona glaciale, i venti spirano talvolta da parecchi punti dell'orizzonte: al contrario, avvicinandosi alla zona torrida, divengono sempre più regolari. Nel nord della Francia, in Inghilterra ed in Germania domina il vento di sud-ovest; nel mezzodì della Francia, la direzione dei venti inclina piuttosto verso il nord; in Ispagna ed in Italia predomina il vento del nord.

793. **Trombe.** — Le *trombe* sono ammassi di vapore sospesi negli strati inferiori dell'atmosfera, che attraversano animati, il più delle volte, da un moto rotatorio abbastanza rapido per isradicare alberi, rovesciare case, spezzare e distruggere tutto ciò che incontrano.

Queste meteore, che generalmente sono accompagnate da grandine e da pioggia, slanciano sovente lampi e fulmini, facendo udire su tutta la zona che percorrono un rumore simile a quello di un carro trascinato sopra un terreno ronchioso. Molte trombe non posseggono moto rotatorio, ed un quarto circa di quelle che si osservano hanno origine in un'atmosfera calma.

Le trombe si manifestano tanto sui continenti che sui mari, ed allora il fenomeno presenta un aspetto rimarchevole. Le acque si agitano e si innalzano in forma di cono, mentre le nubi si abbassano esse pure sotto la forma di cono rovesciato; i due coni si congiungono coi loro vertici e formano così una colonna continua dal mare alle nubi (fig. 662). Però, anche in alto mare, l'acqua delle trombe non è mai salata, d'onde si deduce che esse sono principalmente formate dai vapori condensati e non dall'acqua del mare innalzata per aspirazione.

Non si conosce l'origine delle trombe. Kæmtz ammette che siano dovute principalmente a due venti opposti che passino l'uno accanto al-

l'altro, od anche ad un vento assai vivo che domina nelle alte regioni dell'atmosfera. Peltier e molti altri fisici assegnarono alle trombe una causa elettrica.

Fig. 662.

Meteore acquee.

794. **Nebbie.** — Le *nebbie* sono masse di vapore acqueo le quali, condensate nell'atmosfera, ne occupano le basse regioni e ne ottenebrano la trasparenza.

Le nebbie si formano quando il suolo umido è più caldo dell'aria. Allora i vapori che ascendono si condensano e divengono visibili. Bisogna però che l'aria raggiunga il suo punto di saturazione (311), altrimenti non ha luogo la condensazione. Le nebbie possono formarsi anche quando una corrente d'aria calda ed umida passa al di sopra di un fiume la cui temperatura sia inferiore alla sua, perchè allora raffreddandosi l'aria, tosto che è satura, avvi condensazione dei vapori che contiene.

795. **Nubi.** — Le *nubi* sono ammassi di vapore acqueo condensati in goccioline di estrema piccolezza, come le nebbie, dalle quali differiscono soltanto perchè occupano le alte regioni dell'atmosfera; esse risultano sempre dalla condensazione dei vapori che si innalzano dalla terra. Le nubi, secondo le apparenze che presentano, si dividono in quattro specie principali, che sono i *cirri*, i *cumuli*, gli *strati* ed i *nembi*. Queste quattro specie di nubi sono rappresentate dalla fig. 663 e contrassegnate rispettivamente con quattro uccelli al volo, con tre, con due o con uno.

I *cirri* sono piccole nubi biancastre che offrono l'aspetto di sottili filamenti, alquanto somiglianti a lana scardassata. Queste sono le nubi più alte, e stante la bassa temperatura delle regioni che occupano, si ritengono formate da particelle ghiacciate o da fiocchi di neve. La loro apparizione precede sovente un cangiamento di tempo.

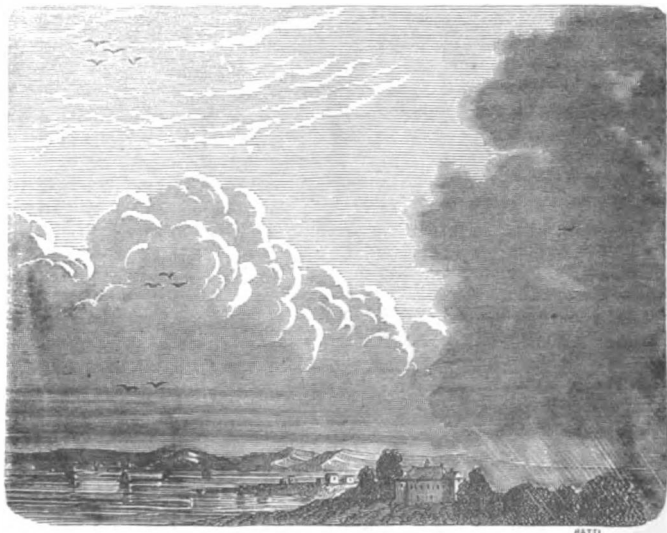



Fig. 663.

I *cumuli* sono nubi arrotondate che presentano l'aspetto di montagne addossate le une alle altre; sono più frequenti in estate che in inverno, e formatesi al mattino si dissipano generalmente la sera. Se però verso sera divengono più numerose, e principalmente se sono sormontate da cirri danno indizio di pioggia o di temporale.

Gli *strati* sono falde nuvolose orizzontali, assai larghe e continue che si formano al tramontar del sole e si dissipano al suo levare. Sono frequenti in autunno e rare in primavera, e sono più basse delle precedenti.

Finalmente, i *nembi*, o nubi di pioggia, sono nubi che non presentano alcuna forma caratteristica; si distinguono soltanto per la loro tinta di un grigio uniforme e pei loro lembi a frange.

L'altezza delle nubi è assai variabile; in media essa è da 1200 a 1400 metri in inverno e da 3000 a 4000 metri in estate; sovente però è molto maggiore. Gay-Lussac, nella sua ascesa aerostatica, all'altezza di 7016 metri sul livello del mare, osservò al disopra di sè dei cirri che sembravano ancora ad una altezza considerevole. D'Abbadie, in Etiopia, osservò delle nubi temporalesche la cui altezza era soltanto di 212 metri al disopra del suolo.

Per ispiegare la sospensione delle nubi nell'atmosfera, Halley propose pel primo l'ipotesi dei vapori vescicolari, ipotesi che consiste nel sup-

porre le nubi siccome formate da un infinito numero di vescichette piccolissime, vuote come le bolle di sapone, e piene di un'aria più calda dell'aria ambiente per un effetto di assorbimento del calore solare; dimodochè queste vescichette galleggerebbero nell'aria come altrettanti piccoli palloni. Questa teoria, sostenuta da Saussure, indi da Kratzenstein, da Bravais e dal maggior numero dei fisici, venne per lungo tempo universalmente insegnata; ma combattuta dapprima da Désaguliers, indi da Monge, conta al presente molti oppositori. Questi ammettono che le nubi e le nebbie siano formate da goccioline d'acqua estremamente piccole, piene e galleggianti nell'atmosfera ove sono sostenute dalle correnti d'aria calda ascendenti, nello stesso modo che i leggeri pulviscoli sono innalzati dai venti. L'immobilità che ordinariamente presentano le nubi nel senso della verticale, secondo questi fisici, sarebbe soltanto apparente. Il più delle volte le nubi discendono lentamente, ma allora la loro parte inferiore si dissipa continuamente negli strati più caldi che attraversano, mentre la loro parte superiore si accresce senza posa per l'aumento di nuovi vapori che si condensano; il che spiega come le nubi sembra conservino un'altezza costante.

796. **Pioggia.** — La *pioggia* è la caduta allo stato di goccioline dell'acqua proveniente dalla condensazione, nelle alte regioni dell'atmosfera, dei vapori che si innalzano dal suolo.

Si misura la quantità di pioggia che cade annualmente su di un luogo per mezzo di un apparecchio che chiamasi *pluviometro* od *udometro*. È un vaso cilindrico M (fig. 664 e 665) chiuso alla sua parte superiore

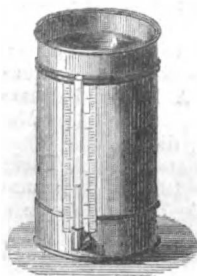
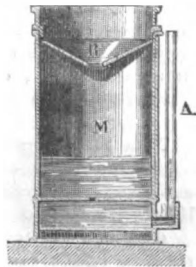



Fig. 664 (a = 28). Fig. 665.

da un coperchio B, che ha la forma di un imbuto nel quale cade l'acqua della pioggia. Questa penetra in seguito nell'interno del vaso per un piccolo foro, in modo che sia sottratta il meglio possibile all'evaporazione. Dalla base dell'apparato parte un tubo di vetro A nel quale l'acqua si eleva alla stessa altezza che raggiunge nell'interno del pluviometro, altezza che si misura per mezzo di una scala graduata in millimetri, situata accanto al tubo, come mostra la figura 664. Collocato quest'apparecchio in un luogo scoperto, se dopo un mese, per esempio, l'altezza dell'acqua nel tubo è di 5 centimetri, ciò indica che nel vaso l'acqua ha raggiunto questa altezza; e quindi che se l'acqua caduta fosse stesa alla superficie del suolo senza evaporazione nè infiltrazione, ve ne sarebbe uno strato di 5 centimetri.

All'Osservatorio di Parigi si constatò che la quantità di pioggia raccolta nel pluviometro è tanto maggiore quanto meno lo strumento è elevato dalla superficie del suolo. La stessa osservazione venne fatta in Inghilterra ed in America. Dapprima si spiegò questo fenomeno dicendo che le gocce di pioggia, le quali, in generale, sono più fredde degli strati d'aria che attraversano, condensano il vapore contenuto in questi strati, ed aumentando di volume fanno sì che cada maggiore quantità di pioggia alla superficie del suolo che non ad una certa altezza. Ma si obbiettò a questa teoria che l'eccesso della quantità d'acqua che cade alla superficie del suolo su quello che cade ad una certa altezza, sorpassa sei o sette volte quella che potrebbe risultare dalla condensazione, anche durante tutto il tragitto delle gocce di pioggia dalle nubi fino alla terra. Quindi la differenza di cui si tratta venne attribuita ad una causa puramente locale, ed oggidì si ammette che questa differenza sia occasionata da rivolgimenti *(remous)* che si producono nell'aria attorno al pluviometro, in modo tanto più sensibile quanto più esso è elevato al di sopra del suolo; questi rivolgimenti avendo per effetto di disperdere le gocciole che tendono a cadere nell'istrumento, diminuiscono così la quantità di acqua che esso riceve.

È però evidente che le gocce di pioggia, attraversando un'aria umida, ponno, a seconda della loro temperatura, condensare del vapore ed aumentare il volume. Se, all'incontro, esse attraversano un'aria secca, tendono a vaporizzarsi, e cade minore quantità di pioggia sul suolo che non ad una certa altezza; così può anche avvenire che la pioggia non raggiunga la terra.

Moltissime circostanze locali ponno far variare la quantità di acqua che cade nei diversi paesi, ma a parità di tutte le altre circostanze deve piovere maggiormente nei paesi caldi, perchè ivi la vaporizzazione è più abbondante. Infatti, si osserva che la quantità di pioggia diminuisce dall'equatore verso i poli. A Parigi, l'altezza dell'acqua che cade annualmente è di $0^{m},564$; a Bordò, di $0^{m},650$; a Madera, di $0^{m},767$; all'Avana, di $2^{m},32$; a San Domingo, di $2^{m},73$.

La quantità di pioggia varia colle stagioni. A Parigi, l'altezza dell'acqua che cade all'inverno è di $0^{m},107$; alla primavera di $0^{m},174$; all'estate di $0^{m},161$; all'autunno di $0^{m},122$. Adunque all'inverno cade la minor quantità di pioggia.

797. **Rugiada, sereno, brina.** — La *rugiada* altro non è che vapore il quale durante la notte si condensa e si depone sui corpi in goccioline. Questo fenomeno è dovuto al raffreddamento che subiscono i corpi situati alla superficie del suolo per effetto dell'irradiamento notturno (428). La loro temperatura abbassandosi allora di parecchi gradi al di sotto di quella dell'aria, avviene principalmente nelle stagioni calde, che questa temperatura diventi inferiore a quella a cui l'atmosfera sarebbe satura. Allora, gli strati d'aria a contatto coi corpi, e sensibilmente alla stessa temperatura di essi, lasciano depositare una parte del vapore che contengono; fenomeno analogo a quello che si produce quando in una camera calda ed umida si porta una tazza piena d'acqua fresca: i vapori dell'aria si condensano allora sulle sue pareti.

Secondo questa teoria, dovuta all'inglese Wells, tutte le cause che favoriscono il raffreddamento dei corpi aumentano la quantità di rugiada. Queste cause sono: le facoltà emissive dei corpi, lo stato del cielo e l'agitazione dell'aria. I corpi che possiedono una grande facoltà

emissiva (385), raffreddandosi di più debbono condensare maggiore quantità di vapore. Infatti, il deposito di rugiada è generalmente nullo sui metalli, la cui facoltà emissiva è debole, principalmente se sono levigati; mentre la terra, la sabbia, il vetro, le piante, che hanno grande facoltà emissiva, si ricoprono abbondantemente di rugiada.

Anche lo stato del cielo esercita grande influenza sulla rugiada. Se il cielo è senza nubi, gli spazi planetari, che trovansi ad una temperatura bassissima, non mandano verso la terra che una quantità di calorico inapprezzabile, e siccome allora il suolo si raffredda rapidamente per l'irradiamento notturno, avvi un abbondante deposito di rugiada. Ma se il cielo è coperto di nubi, queste, la cui temperatura è molto più alta di quella degli spazi planetari, irradiano verso il suolo, ed i corpi alla superficie della terra non subendo che un debole raffreddamento, il deposito di rugiada non ha luogo.

Il vento ha pure una grande influenza sulla quantità di vapore che si deposita: se è debole, aumenta il deposito rinnovando l'aria; ma se è forte, lo diminuisce riscaldando i corpi col suo contatto e non lasciando all'aria il tempo di raffreddarsi. Infine, il deposito di rugiada è tanto più abbondante quanto più l'aria è umida, perchè in tal caso essa è più vicina al suo punto di saturazione.

Il *sereno* è una precipitazione di acqua sotto forma di pioggia minutissima, senza che si scorgano nubi. Questo fenomeno si produce nei paesi umidi, quando, dopo un giorno molto caldo, al tramontar del sole, gli strati inferiori dell'aria si raffreddano al di sotto del loro punto di saturazione.

La *brina* è prodotta, come la rugiada, dai vapori contenuti nell'atmosfera, quando questi vapori si condensano sui corpi ad una temperatura sotto a zero. La forma di fiocchi che presentano i piccoli cristalli di cui è formata la brina, dimostrano che in tal caso i vapori si congelano immediatamente senza passare per lo stato liquido. La brina come la rugiada, si deposita sui corpi che irradiano di più, quali sono i gambi e le foglie dei vegetali, ed il deposito si forma principalmente sulle parti rivolte verso il cielo.

798. **Neve, grandine minuta, gelicidio.** — La *neve* è acqua solidificata in piccoli cristalli stellati, diversamente ramificati e galleggianti nell'atmosfera. Questi cristalli provengono dalla congelazione delle goccioline di cui son formate le nubi, quando la temperatura di queste discende sotto a zero; essi sono tanto più regolari quanto più l'aria è calma. Per osservarli si ricevono sopra un corpo nero e si guardano con una forte lente. È veramente ammirabile la regolarità, ed in pari tempo la varietà delle loro forme. La figura 666 rappresenta alcune forme che presentano i cristalli della neve quando si osservano con un microscopio. Sembra che le loro forme siano di parecchie centinaia.

La neve cade in maggiore quantità nei luoghi più vicini ai poli o più elevati al disopra del livello del mare. Verso i poli, la terra è costantemente coperta di neve; lo stesso avviene sulle alte montagne, ove sonvi le nevi perpetue anche nelle regioni equatoriali.

La *grandine minuta* è essa pure acqua solidificata sotto forma di piccoli aghi addossati confusamente gli uni agli altri. Si attribuisce la sua formazione alla congelazione rapida delle goccioline delle nubi in un'aria agitata.

Il *gelicidio* è uno strato di ghiaccio compatto e trasparente che si forma sul suolo alla superficie dei corpi. La condizione necessaria per

la sua formazione è che la temperatura del suolo essendo al di sotto di zero, dopo alcuni giorni di freddo continuo, cada un poco di piog-

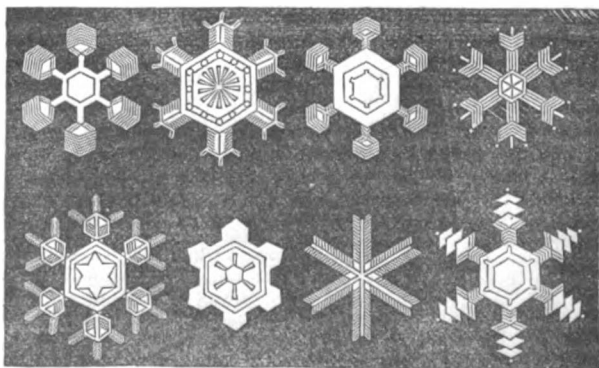



Fig. 666.

gia; questa tosto si congela; però se la pioggia cade copiosa. il suolo si riscalda ed il gelicidio non si forma.

799. **Grandine.** — La *grandine* è un ammasso di globetti di ghiaccio compatti, più o meno voluminosi che cadono dall'atmosfera. Nei nostri climi, la grandine cade principalmente durante la primavera e l'estate, e nelle ore più calde del giorno; rade volte ne cade durante la notte. La caduta della grandine è sempre preceduta da uno strepito particolare.

La grandine è generalmente il percursore delle procelle; di rado le accompagna, più di rado le segue. La grossezza della grandine è assai variabile; essa raggiunge di frequente quella di un nocciolo; e fu veduta della grossezza di un uovo di piccione, del peso di 200 a 300 grammi. Nessuna teoria spiega in modo soddisfacente la formazione della grandine, e principalmente come possa raggiungere un tal peso prima di cadere. Nella teoria di Volta (644) la gragnuola sarebbe successivamente attratta da due nubi cariche di elettricità contrarie; ma se la gragnuola fosse così attratta, a maggior ragione lo sarebbero le due nubi l'una dall'altra, e si confonderebbero.

Meteore luminose.

800. **Elettricità atmosferica, esperienza di Franklin.** — I fenomeni luminosi più frequenti e più rimarchevoli pei loro effetti sono quelli prodotti dall'elettricità libera che trovasi nell'atmosfera. I primi fisici che osservarono la scintilla elettrica la paragonarono tosto alla luce del lampo, e lo strepito che essa produce, al rumore del tuono. Ma Franklin, pel primo, a mezzo delle batterie elettriche da esso inventate potè stabilire un parallelo fra il fulmine e l'elettricità, ed indicare, in una Memoria pubblicata nel 1749, le esperienze da farsi per sottrarre alle nubi temporalesche la loro elettricità per mezzo di punte metal-

liche. Guidato dalle idee teoriche di Franklin, Dalibard, fisico francese, innalzò in un giardino, a Marly, vicino a Parigi, una spranga di ferro isolata dell'altezza di 33 metri, la quale, sotto l'influenza di una nube temporalesca, diede, il 10 maggio 1752, delle scintille abbastanza forti per caricare parecchie bottiglie di Leyda. Intanto Franklin si disponeva a fare l'esperienza che aveva annunciata; attendeva per ciò che fosse terminata la costruzione di un campanile, quando pensò di adoperare un cervo-volante munito di una punta metallica, il quale poteva giungere alle più alte regioni dell'atmosfera. Adunque, nel giugno 1752, prima di conoscere l'esperienza di Dalibard, si recò in giorno di temporale in un campo vicino a Filadelfia insieme col suo giovine figlio. Ivi, lanciato il cervo-volante, attaccò una chiave alla corda, ed alla chiave un cordone di seta destinato ad isolare l'apparecchio; indi fissò il cordone di seta ad un albero. Avendo presentata la mano alla chiave, non ne ritrasse alcuna scintilla, e cominciava già a disperare dell'esito, quando, essendo sopravvenuta una leggera pioggia, la corda divenne meglio conduttrice e la chiave diede la desiderata scintilla. L'emozione del celebre fisico fu sì grande che, come ei stesso racconta nelle sue lettere, non potè trattenere le lagrime.

Franklin, il quale aveva scoperto il potere delle punte (624), ma ne ignorava la teoria, ammetteva che il cervo-volante sottraesse alla nube la elettricità; al presente, giusta la teoria dell'elettrizzazione per influenza (628), il fenomeno deve essere spiegato coll'influenza che la nube temporalesca esercita sul cervo-volante e sulla corda.

801. **Apparati per valutare l'elettricità atmosferica.** — Gli apparati che si adoperano per riconoscere la presenza dell'elettricità nell'atmosfera sono: l'elettrometro a palle di sambuco, o a pagliette o a foglie d'oro, l'apparato di Dalibard, delle frecce lanciate nell'atmosfera, od anche dei cervi-volanti o dei palloni assicurati ad una corda.

Per osservare l'elettricità in tempo sereno, nel qual caso la tensione è generalmente debole, si adopera di preferenza l'elettrometro che Saussure aveva applicato a questo genere di ricerche. È un elettrometro simile a quello già descritto (633), ma l'asta che porta le foglie d'oro o le pagliette è sormontata da un conduttore alto 6 decimetri, e terminato con una palla o con una punta (fig. 667). Onde preservare l'apparato dalla pioggia lo si copre con un cappello conico di ottone del diametro di un decimetro. La cassa di vetro, che è quadrata invece di essere rotonda, ha soltanto 5 decimetri di larghezza; ed un cerchio graduato, applicato sulla faccia anteriore, indica l'angolo di divergenza delle foglie d'oro o delle pagliette. Questo elettrometro dà segni di elettricità atmosferica solo quando lo si innalzi nell'atmosfera in modo che si trovi circondato da strati d'aria il cui strato elettrico sia superiore al suo. Una elevazione di 3 decimetri

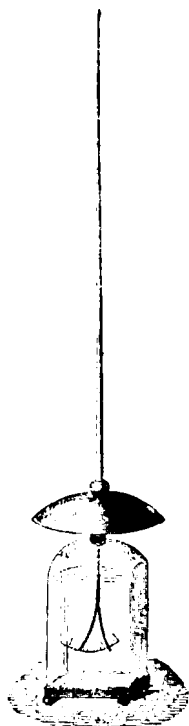



Fig. 667.

basta per ottenere una divergenza di 20 gradi a motivo dell'eccesso di elettricità.

Per riconoscere l'elettricità dell'atmosfera Saussure si servì anche di una palla di ottone che lanciava verticalmente in alto colla mano. Questa palla era fissata all'estremità di un filo metallico, l'altra estremità del quale era legata ad un anello che poteva scorrere lungo il conduttore dell' elettrometro. Dall' allontanamento delle paglie o delle foglie d'oro, si valutava lo stato elettrico dell'aria all'altezza a cui era giunta la palla. Becquerel, nelle sue esperienze fatte sul monte San Bernardo, perfezionò l'apparato di Saussure sostituendo alla palla una freccia che veniva lanciata nell' atmosfera per mezzo di un arco fortemente teso. Un filo di seta coperto di talco e lungo 80 metri era fissato per una estremità alla freccia, e coll'altra comunicava coll'asta di un elettrometro a pagliette o a foglie d'oro.

Peltier fece uso di un elettrometro a foglie d'oro portante alla parte superiore una sfera piuttosto voluminosa. Con questo istrumento l'osservatore si pone in una situazione che domini i luoghi circostanti, ed allora basta innalzare l' elettrometro a piccola altezza, anche solo di qualche decimetro, perchè dia segni di elettricità.

Quando si vuol osservare l' elettricità delle nubi, siccome allora la tensione elettrica è considerevolissima, si adopera una lunga spranga metallica terminata in punta, simile a quella adottata da Dalibard nell'esperienza testè descritta. Questa spranga, isolata con cura, è fissata in cima ad un edificio, e la sua parte inferiore comunica con un elettrometro o con uno scampanio elettrico (fig. 497 pag. 532), il quale annunzia la presenza di nubi temporalesche. Però, siccome allora la spranga può dare delle scintille pericolose, si deve collocarle accanto una sfera metallica che comunichi sicuramente col suolo, e sia più vicina alla spranga che l'osservatore, acciocchè se scocca la scintilla ne sia colpita la sfera e non l'osservatore. Richmann, professore a Pietroburgo, in una esperienza di questo genere fu ucciso da una scintilla che lo colpì in fronte.

Finalmente, si fece uso anche di cervi-volanti muniti di una punta, come nell' esperienza di Franklin, e comunicanti con un elettrometro per mezzo di una fune coperta di talco. Si adoperano pure dei palloni trattenuti da corde metalliche.

802. **Elettricità ordinaria dell'atmosfera** — Per mezzo dei diversi apparati che furono or ora descritti, si è constatato che l'atmosfera contiene dell' elettricità libera non solo durante i temporali, ma sempre, e che essa è ora positiva, ora negativa. Quando il cielo è limpido e senza nubi, si osserva sempre nell'atmosfera della elettricità positiva; ma questa elettricità varia di intensità coll'altezza dei luoghi e colle ore della giornata. L'intensità massima si osserva nei luoghi più elevati e più isolati. Nelle case, nelle strade, sotto agli alberi non si osserva alcuna traccia di elettricità positiva. Nelle città l' elettricità positiva è sensibile soltanto nelle grandi piazze, sulle rive dei fiumi e sui ponti. In tutti i casi, l' elettricità positiva si osserva soltanto ad una certa altezza al di sopra del suolo. In aperta campagna essa è sensibile solo ad 1^m, 30 di altezza; più in alto essa cresce secondo una legge che non è conosciuta e che dipende dallo stato igrometrico dell' aria.

Al levare del sole l'eccesso di elettricità positiva dell'atmosfera è debole; cresce sin verso le 8 o le 11 ore, secondo le stagioni, ed allora

raggiunge un primo massimo. Decresce in seguito rapidamente fin verso il tramonto del sole, indi aumenta per raggiungerne un secondo massimo, poche ore dopo il tramonto; durante il resto della notte l'elettricità decresce. Questi periodi crescenti e decrescenti che si osservano tutto l'anno, sono tanto più sensibili quanto più sereno è il cielo e calmo il tempo. Infine, l'elettricità positiva dei giorni sereni è molto più forte in inverno che in estate.

Quando il cielo è coperto, si osserva nell'atmosfera ora dell'elettricità positiva, ora dell'elettricità negativa. Accade anche sovente che l'elettricità cangi di segno perecchie volte in un giorno pel passaggio di nubi elettrizzate. Durante i temporali e quando piove o nevica, l'atmosfera è elettrizzata positivamente un giorno, negativamente un altro, ed i due numeri di giorni sono sensibilmente uguali. La tensione elettrica può divenire abbastanza intensa per rendere scintillante la pioggia, fenomeno che venne osservato parecchie volte.

Peltier, per mezzo del moltiplicatore, trovò che l'elettricità del suolo è sempre negativa, ma di intensità diversa a norma dello stato igrometrico e della temperatura dell'aria.

803. **Causa dell'elettricità atmosferica.** — Si tentò di spiegare per mezzo di diverse ipotesi l'origine dell'elettricità atmosferica. Alcuni la attribuirono allo strofinamento dell'aria contro il suolo, altri alla vegetazione delle piante od all'evaporazione dell'acqua. Alcuni hanno anche paragonata la terra ad una immensa pila voltiana, altri ad un apparato termo-elettrico (771). Parecchie di queste cause ponno infatti concorrere al fenomeno.

Volta, pel primo, mostrò che l'evaporazione dell'acqua produce dell'elettricità. In seguito, Pouillet trovò che se l'acqua è distillata, l'evaporazione non dà mai svolgimento di elettricità; ma se l'acqua tiene disciolto un alcool od un sale, anche in piccola quantità, il vapore è elettrizzato positivamente e la soluzione negativamente. Se l'acqua è combinata con un acido, accade il contrario. Pertanto si ammise che i vapori che si svolgono dalle acque esistenti alla superficie del suolo e nei mari, le quali tengono sempre in soluzione delle materie saline, si elettrizzano positivamente, ed il suolo assume l'elettricità negativa.

Per constatare lo svolgimento di elettricità prodotto dall'evaporazione, si riscalda fortemente una capsula di platino, vi si versa una piccola quantità di liquido e la si colloca sul piatto superiore dell'elettrometro condensatore (fig. 513, pag. 544) avendo cura di far comunicare il piatto inferiore col suolo. Quando è evaporata l'acqua della capsula, si rompe la comunicazione col suolo e si toglie il piatto superiore. Allora, se l'acqua teneva in soluzione qualche sostanza eterogenea, le foglie d'oro divergono, ma restano in riposo se l'acqua era distillata.

Pouillet, basandosi sopra questa esperienza, attribuì lo svolgimento dell'elettricità per evaporarsi alla separazione delle particelle di acqua dalle sostanze disciolte; ma Reich e Riess, in Germania, mostrarono che l'elettricità sviluppata nell'evaporazione può essere attribuita allo strofinamento esercitato dalle particelle di acqua trascinate dal vapore contro le pareti del vaso, come nella macchina di Armstrong (641). In seguito a recenti esperienze, Gaugain giunse allo stesso risultato e ne conchiuse che l'elettricità atmosferica non può essere attribuita alle separazioni chimiche che si operano durante l'evaporazione tranquilla dell'acqua dei mari.

Quanto all'ipotesi che consiste nel considerare la terra come una immensa sorgente di elettricità voltiana dovuta alle azioni chimiche, Becquerel fece recentemente conoscere numerose esperienze, dalle quali deriva che il contatto delle terre e delle acque produce sempre elettricità: la terra assume un eccesso considerevole di elettricità positiva o negativa, e l'acqua un eccesso corrispondente di elettricità contraria, secondo la natura dei sali e degli altri composti tenuti in soluzione nelle acque. Questo è un fatto generale che, dopo i lavori di Becquerel, non ammette eccezioni.

Becquerel esperimentava con un moltiplicatore ordinario, il cui filo era posto in comunicazione con due lamine di platino immerse nei terreni o nelle acque di cui voleva conoscere lo stato elettrico. In tal modo egli constatò che allorquando due terreni umidi sono in contatto, quello che contiene la soluzione più concentrata assume un eccesso di elettricità positiva. Nello stesso modo egli trovò che nei dintorni di un fiume, anche a molta distanza, la terra e gli oggetti situati alla superficie possedevano un eccesso di elettricità negativa, mentre l'acqua e le piante acquatiche che galleggiano alla sua superficie erano cariche di elettricità positiva. Ma secondo la natura delle sostanze disciolte nelle acque ponno prodursi effetti contrari.

Secondo le esperienze di Becquerel, siccome le acque ora si trovano in istato positivo ed ora in istato negativo, e le terre in uno stato contrario, ne segue che l'acqua, vaporizzandosi, deve costantemente versare nell'atmosfera un eccesso di elettricità positiva o negativa, mentre la terra, a motivo dei vapori che si svolgono alla sua superficie, lascia sfuggire un eccesso di elettricità contraria. Ora, questi eccessi di elettricità devono necessariamente influire sulla distribuzione dell'elettricità sparsa nell'atmosfera, e ponno servire a spiegare come le nubi siano elettrizzate ora positivamente, ora negativamente (802).

804. **Elettricità delle nubi.** — In generale, le nubi sono tutte elettrizzate ora positivamente, ora negativamente, e non differiscono fra loro che per una tensione elettrica più o men forte. Si spiega facilmente la formazione delle nubi positive, per mezzo dei vapori che si svolgono dal suolo e si condensano nelle alte regioni dell'atmosfera per formare le nubi. Le nubi negative, in generale, si ammette che risultino da nebbie le quali, pel contatto col suolo, si sono caricate di fluido negativo che conservano in seguito innalzandosi nell'atmosfera; oppure che, separate dal suolo per mezzo di strati d'aria umida, vengano elettrizzate negativamente per l'influenza di nubi positive che respinsero nel suolo l'elettricità positiva. Ma le esperienze di Becquerel suddescritte bastano per ispiegare i due stati elettrici che ponno presentare le nubi.

805. **Lampo.** — Il *lampo* è una luce abbagliante proiettata dalla scintilla elettrica che scocca dalle nubi cariche di elettricità. La luce dei lampi è bianca nelle basse regioni dell'atmosfera, ma nelle alte regioni, ove l'aria è rarefatta, assume una tinta violacea come fa in simil caso la scintilla della macchina elettrica (656).

I lampi alcune volte hanno la lunghezza di parecchie leghe; il loro passaggio nell'aria si opera a zig-zag. Questo fenomeno è attribuito alla resistenza che presenta l'aria compressa pel passaggio di una forte scarica. La scintilla devia allora dalla linea retta per prendere la direzione secondo la quale la resistenza è minore. Infatti, nel vuoto la trasmissione elettrica si opera in linea retta.

Si ponno distinguere quattro sorta di lampi: 1.° I lampi a zig-zag che si muovono con estrema velocità sotto la forma di una striscia di fuoco a contorni perfettamente determinati, e che sono affatto paragonabili alla scintilla delle macchine elettriche. 2.° I lampi che invece di essere lineari come i precedenti, abbracciano tutto l'orizzonte senza presentare alcun contorno apparente, come sarebbe lo splendore improvviso prodotto dall'esplosione di materie infiammabili. Questi lampi, che sono i più frequenti, sembrano prodursi nel seno istesso della nube e rischiararne la massa. 3.° I lampi detti *di calore*, perchè brillano nelle notti di estate senza che si scorga alcuna nube sull'orizzonte e senza che si intenda alcun rumore. Molte ipotesi furono proposte per ispiegare l'origine di questi lampi; la più probabile è che siano lampi ordinari che scoccano fra nubi situate al disotto dell'orizzonte, a tali distanze che il rumore del tuono non possa giungere fino all'orecchio dell'osservatore. 4.° I lampi che appariscono sotto forma di globi di fuoco. Questi lampi che talvolta sono visibili per più di dieci secondi, discendono dalle nubi sulla terra con lentezza bastante perchè l'occhio li possa seguire. Questi globi spesso rimbalzano alla superficie del suolo; talvolta si dividono e scoppiano con rumore paragonabile alla detuonazione di parecchi pezzi d'artiglieria. Si è osservato che la folgore quando penetra negli edifizi, si presenta, in generale, sotto questa forma. L'origine di questi lampi non è nota.

La durata dei lampi delle prime tre specie non giunge ad un millesimo di secondo, come venne constatato da Wheatstone per mezzo di una ruota che faceva girare abbastanza rapidamente perchè i raggi ne fossero invisibili; ma rischiarandosi colla luce di un lampo, la durata di quest'ultimo è sì breve che, qualunque fosse la velocità di rotazione della ruota, essa sembrava completamente immobile, vale a dire che il suo spostamento non era sensibile durante il lampo.

806. **Rumore del tuono.** — Il *tuono* è la detuonazione violenta che succede al lampo nelle nubi temporalesche. Il lampo e la detuonazione sono sempre simultanei; ma si osserva un intervallo di parecchi secondi fra questi due fenomeni, il che proviene da questo che il suono percorre soltanto circa 337 metri per secondo (201), mentre la luce impiega un intervallo di tempo inapprezzabile per propagarsi dalla nube all'occhio dell'osservatore (435). Per conseguenza, questi non ode il rumore del tuono che cinque a dieci secondi, per es., dopo il lampo, secondo che è distante dalla nube temporalesca cinque a dieci volte 337 metri.

Il rumore del tuono risulta dallo scuotimento che la scarica elettrica produce nella nube e nell'aria, scuotimento che è reso sensibile dall'esperienza del termometro di Kinnersley (659). Vicino al luogo in cui scocca il lampo, il rumore del tuono è brusco e di breve durata. Più lontano si ode una serie di rumori che si succedono rapidamente. A maggior distanza ancora il rumore, debole da principio, si cangia in un rumore prolungato di intensità assai ineguale. Furono proposte numerose ipotesi onde spiegare questo rumore prolungato, ma nessuna di esse soddisfa completamente. Alcuni lo attribuirono alla riflessione del suono sulla terra e sulle nubi; altri considerarono il lampo non come una sola scintilla elettrica, ma come una serie di scintille elementari, ciascuna delle quali produce una detuonazione particolare. Ora, queste detuonazioni, partendo da punti diversamente lontani e da zone dis-

ugualmente intense, ne risulta che non solo giungono all'orecchio dell'osservatore successivamente, ma vi arrecano dei suoni di disuguale intensità; il che produce la durata e la disuguaglianza del rumore. Finalmente questo fenomeno venne attribuito ai *zig-zag* istessi del lampo, ammettendo che avvenga un massimo di compressione dell'aria a ciascun angolo saliente, il che produrrebbe l'ineguale intensità del suono.

807. **Effetti del fulmine.** — Il *fulmine* è una scarica elettrica che avviene fra una nube temporalesca ed il suolo. Quest'ultimo, sotto l'influenza dell'elettricità della nube, si carica di elettricità contraria, e quando lo sforzo che fanno le due elettricità per riunirsi vince la resistenza dell'aria, scocca la scintilla, il che si esprime dicendo che *cade* il fulmine. Ordinariamente si ammette che il lampo scenda dall'alto al basso; ma si osservano anche dei fenomeni di *folgore ascendente*, ciò che probabilmente avviene quando le nubi essendo elettrizzate negativamente, la terra lo è positivamente; perchè tutte le esperienze comprovano che, a pressione ordinaria, il fluido positivo attraversa più facilmente l'atmosfera che il fluido negativo.

Secondo la prima legge delle attrazioni elettriche (621), il fulmine deve cadere sugli oggetti più vicini alla nube e i migliori conduttori. Infatti, si osserva che vengono più particolarmente colpiti dal fulmine gli alberi, gli edificii elevati, i metalli. Perciò è imprudente il collocarsi sotto gli alberi durante i temporali, principalmente se questi alberi sono buoni conduttori, come le roveri, gli olmi. Ma il pericolo è minore sotto gli alberi resinosi, come i pini, perchè conducono male l'elettricità.

Gli effetti del fulmine sono assai svariati e della stessa natura di quelli delle batterie (655), ma con molta maggiore intensità. Il fulmine uccide gli uomini e gli animali, infiamma le materie combustibili, fonde i metalli, manda in ischeggie i corpi poco conduttori. Penetrando nel suolo esso fonde le materie silicee che si trovano sul suo passaggio, ed in tal modo si producono, nella direzione della scarica, dei tubi vetrificati, che vennero detti *tubi fulminari* o *folgoriti*, e che giungono fino a 10 metri di lunghezza. Finalmente, quando cade sulle spraughe di ferro le magnetizza, e rovescia soventi volte i poli degli aghi delle bussole.

In generale, il fulmine diffonde sul suo passaggio un odore che venne paragonato a quello del solfo infiammato o di una sostanza fosforica. Questo odore venne dapprima attribuito ad un composto ossigenato formato sotto l'influenza della scarica elettrica ed al quale si diede il nome di *ozono;* ma Schœnbein, nel 1840, indi Marignac e De La Rive, ed infine Edmondo Becquerel e Fremy hanno dimostrato che l'ozono non è altro che ossigene elettrizzato.

808. **Contraccolpo.** — Il *contraccolpo* è una scossa violenta ed anche mortale che risentono talvolta gli uomini e gli animali a grande distanza dal luogo ove scoppia il fulmine. Questo fenomeno ha per causa l'azione per l'influenza che la nube temporalesca esercita su tutti i corpi situati nella sua sfera di attività. Questi corpi trovansi allora, al pari del suolo, carichi di elettricità contraria a quella della nube; ma se questa si scarica per la ricomposizione della sua elettricità con quella del suolo, l'influenza cessa immediatamente, e ritornando i corpi istantaneamente dallo stato elettrico allo stato neutro, ne risulta la scossa che caratterizza il contraccolpo. Questo fenomeno si rende sensibile

collocando una rana in vicinanza ad una forte macchina elettrica: a ciascuna scintilla che se ne trae, la rana prova una scossa violenta.

809. **Parafulmini**. — Un *parafulmine* è un'asta di ferro destinata ad offrire un facile efflusso alla elettricità del suolo attratta dalla elettricità contraria delle nubi temporalesche. L'invenzione dei parafulmini è dovuta a Franklin, nel 1775.

In un parafulmine si distinguono due parti: l'asta ed il conduttore. L'*asta* è una spranga di ferro rettilinea terminata in punta che si fissa verticalmente in cima agli edificii che si vogliono preservare; essa è alta da sei a nove metri, e la sua sezione alla base è un quadrato di cinque a sei centimetri di lato. Il *conduttore* è una spranga di ferro che dal piede dell'asta discende fino al suolo, ove penetra profondamente. Siccome le spranghe di ferro non potrebbero, a motivo della loro rigidezza, seguire facilmente i contorni degli edificii, si preferisce di formare i conduttori con corde di filo di ferro simili a quelle che si adoperano pei ponti sospesi. L'Accademia delle scienze pubblicò recentemente un rapporto sui parafulmini, nel quale raccomanda di usare piuttosto dei fili di rame che dei fili di ferro nel fabbricare le corde metalliche destinate a servire da conduttori, giacchè il rame conduce l'elettricità meglio del ferro. Queste corde, secondo tale rapporto, debbono avere un centimetro quadrato di sezione metallica, i fili di 1 a 1,5 millimetri di diametro, e ponno essere intrecciati a tre fili come le corde ordinarie. Lo stesso rapporto consiglia di terminare l'asta dei parafulmini con una punta di rame anzichè con una punta di platino, sempre a motivo della maggiore conducibilità.

Il conduttore termina ordinariamente in un pozzo, e per istabilire meglio la comunicazione col suolo si divide all'estremità in due o tre ramificazioni. Se non vi sono pozzi in vicinanza al parafulmine, si pratica nel suolo un foro profondo da quattro a sei metri, e dopo d'avervi introdotta l'estremità del conduttore, si ha cura di riempiere il foro con carbonella, la quale conduce bene.

La teoria dei parafulmini è basata sull'elettrizzazione per influenza e sul potere delle punte (624). Franklin, il quale, appena ebbe constatata l'identità del fulmine colla elettricità, pensò di applicare il potere delle punte ai parafulmini, ammetteva che questi sottraessero alle nubi temporalesche la loro elettricità; invece accade il contrario. Quando una nube temporalesca elettrizzata positivamente, per es., si eleva nell'atmosfera, agisce per influenza sulla terra, respinge lontano il fluido positivo ed attrae il fluido negativo, il quale si accumula sui corpi situati alla superficie del suolo tanto più abbondantemente quanto maggiore è l'altezza a cui giungono questi corpi. Allora i più alti sono quelli che possiedono la maggior tensione, e per conseguenza sono più esposti alla scarica elettrica; ma se questi corpi sono armati di punte metalliche come le aste dei parafulmini, il fluido negativo, attratto dal suolo per l'influenza della nube, sfugge nell'atmosfera e va a neutralizzare il fluido positivo della nube. Per conseguenza, il parafulmine non solo si oppone alla accumulazione dell'elettricità alla superficie della terra, ma tende anche a ricondurre le nubi temporalesche allo stato naturale, effetti ambedue cospiranti a prevenire la caduta del fulmine. Però, lo svolgimento di elettricità è talvolta così abbondante che il parafulmine non basta a scaricare il suolo, ed il fulmine scoppia; ma allora è il parafulmine che riceve la scarica a motivo della sua maggior conducibilità, e l'edifizio è preservato.

L'esperienza ha insegnato che un'asta di parafulmine protegge efficacemente intorno ad essa uno spazio circolare di un raggio doppio della sua altezza. Per conseguenza, un edifizio lungo 64 metri sarebbe difeso da due aste di 8 metri di altezza, distanti 32 metri.

Un parafulmine per essere efficace deve soddisfare alle seguenti condizioni: 1.º l'asta deve essere grossa abbastanza per non rimaner fusa qualora il fulmine la colpisca; 2.º deve essere terminata in punta per dare più facilmente uscita all'elettricità che si svolge dal suolo: per soddisfare a questa condizione si termina ordinariamente l'asta con una punta di platino o di rame indorato onde impedirne l'ossidazione; 3.º il conduttore non deve presentare alcuna soluzione di continuità dall'asta fino al suolo; 4.º la comunicazione fra l'asta e il suolo deve essere stabilita il meglio possibile; 5.º se l'edificio che si arma di parafulmine contiene dei pezzi metallici di una certa estensione, come un coperto di zinco, delle grondaie di metallo, delle armature di ferro, si deve farli comunicare col conduttore del parafulmine.

Se non sono soddisfatte le ultime tre condizioni, l'edificio è esposto alle *scariche laterali*, cioè la scintilla può scoccare fra esso ed il conduttore; ed allora il parafulmine non fa che accrescere il pericolo.

Per maggiori particolari sui parafulmini rimandiamo il lettore ad una *Istruzione sui parafulmini*, pubblicata da Gay-Lussac, nel 1823, la quale venne recentemente ristampata ed aumentata di un supplemento redatto da una commissione dell'Accademia delle scienze, a proposito delle grandi quantità di ferro che entrano nelle nuove costruzioni.

810. **Arcobaleno.** — L'*arcobaleno* è una meteora luminosa che apparisce nelle nubi opposte al sole quando si risolvono in pioggia; esso è formato di sette archi concentrici, i quali presentano successivamente i colori dello spettro solare. Talvolta si osserva un solo arcobaleno, ma più spesso se ne vedono due: l'uno, interno, i cui colori sono più vivi, l'altro esterno, più pallido e nel quale l'ordine dei colori è invertito. Nell'arco interno il colore più elevato è il rosso; nell'altro arco è il violetto. Rare volte si scorgono tre arcobaleni; la teoria indica che ve ne può essere anche un maggior numero, ma i colori sono così deboli che sfuggono alla vista.

Il fenomeno dell'arcobaleno è prodotto dalla decomposizione che subisce la luce bianca del sole quando penetra nelle gocce di pioggia e dalla sua riflessione sulla loro faccia interna. Questo fenomeno si osserva infatti anche nelle gocce di rugiada, nei getti di acqua, insomma ogni qualvolta la luce solare penetra in gocce d'acqua sotto un certo angolo.

L'apparizione del arcobaleno e la sua estensione dipendono dalla posizione dell'osservatore e dall'altezza del sole sull'orizzonte; d'onde si deve conchiudere che non tutti i raggi rifratti dalle gocce di pioggia e riflessi dalla loro superficie concava verso l'occhio dell'osservatore sono atti a produrre il fenomeno. Quelli che ponno dargli origine ricevettero il nome di *raggi efficaci*.

Per comprendere questa efficacia dei raggi, si immagini una goccia d'acqua *n* (fig. 668) nella quale penetri un raggio solare *Sa*. Al punto di incidenza *a*, una parte della luce si riflette sulla superficie del liquido, l'altra vi penetra decomponendosi, ed attraversa la goccia secondo la direzione *ab*. Arrivata in *b*, una parte della luce emerge dalla goccia di pioggia; l'altra parte si riflette sulla superficie concava ed

emerge in g. In questo punto la luce è di nuovo riflessa parzialmente, e la porzione non riflessa emerge in una direzione gO, che forma col raggio incidente Sa un angolo detto *angolo di deviazione*. I raggi che come gO emergono dal lato dell'osservatore sono quelli che determinano sulla retina la sensazione dei colori, purchè però la luce sia abbastanza intensa.

Ora, il calcolo dimostra che per una serie di raggi paralleli incidenti sopra una medesima goccia e che subiscono una sola riflessione nel suo

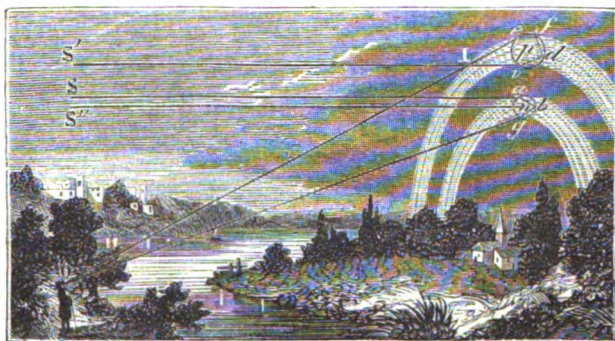



Fig. 668.

interno, l'angolo di deviazione aumenta successivamente dopo il raggio centrale $S''n$, pel quale è nullo, fino ad un certo limite, al di là del quale decresce, e che vicino a questo limite i raggi entrati paralleli fra loro in una goccia di pioggia ne emergono ancora paralleli. Da questo parallelismo risulta un fascio di luce che possiede bastante intensità per impressionare la retina; adunque i raggi efficaci sono quelli che emergono paralleli fra loro.

Siccome i diversi colori che compongono la luce bianca sono inegualmente rifrangibili, il massimo dell'angolo di deviazione non è lo stesso per tutti. Il calcolo insegna che pei raggi rossi il valore dell'angolo di deviazione corrispondente ai raggi efficaci è di 42° 2′, e pei raggi violetti di 40° 17′. Ne segue che per tutte le gocce disposte in modo che i raggi che vanno dal sole alla goccia facciano con quelli che vanno dalla goccia all'occhio un angolo di 42° 2′, quest'organo riceve la sensazione del color rosso; il che evidentemente avviene per tutte le gocce situate sulla circonferenza della base di un cono il cui vertice coincide coll'occhio dell'osservatore, quando questo cono abbia il suo asse parallelo ai raggi solari e l'angolo formato da due generatrici opposte sia di 84° 4′. Tale è la formazione della zona rossa dell'arcobaleno. Per la zona violetta, l'angolo del cono è di 80° 34′.

I coni corrispondenti a ciascuna zona hanno lo stesso asse che chiamasi *asse di visione*. Siccome questa retta è parallela ai raggi del sole, ne segue che allorquando quest'astro è all'orizzonte, l'asse di visione è esso pure orizzontale e l'arcobaleno appare sotto la forma di una mezza circonferenza. Se il sole si innalza, l'asse di visione si abbassa, e con esso anche l'arcobaleno. Finalmente, quando il sole è alto 42° 2′, l'arco

sparisce totalmente al disotto dell'orizzonte. Per questo motivo l'arcobaleno si produce soltanto al mattino od alla sera.

Quanto fin qui abbiam detto è applicabile all'arco interno. L'arco esterno è formato da raggi che hanno subíto due riflessioni, come mostra il raggio $S'idfeO$ nella goccia p. L'angolo $S'IO$, formato dal raggio emergente e dal raggio incidente, chiamasi ancora angolo di deviazione. In questo caso tale angolo non è più suscettibile di un massimo, ma solo di un minimo che varia per ciascuna specie di raggi, ed al quale corrispondono ancora i raggi efficaci. Si verifica col calcolo che pei raggi violetti l'angolo minimo è di 54° 7', e pei raggi rossi soltanto di 50° 57'; ciò che si spiega dall'essere qui l'arco rosso interno e l'arco violetto esterno. Siccome, a ciascuna riflessione interna nella goccia di pioggia, evvi perdita di luce, l'arcobaleno esterno presenta sempre delle tinte più deboli dell'arco interno. L'arco esterno cessa di essere visibile quando il sole è alto più di 54° sull'orizzonte.

La luna produce talvolta degli arcobaleni come il sole, ma assai pallidi.

811. **Aurora boreale.** — Chiamasi *aurora boreale*, o piuttosto *aurora polare*, un fenomeno luminoso rimarchevolissimo che apparisce di frequente, nell'atmosfera, ai due poli terrestri. Quando il fenomeno si produce al polo nord riceve il nome di *aurora boreale*, e quando si produce al polo sud, quello di *aurora australe*. Le aurore boreali sembrano più numerose delle australi; ma questo può essere perchè si ha la maggiore opportunità di osservarle. Noi togliamo dal *Trattato di Meteorologia* dei Becquerel la seguente descrizione di un'aurora boreale osservata a Bossekop, nella Laponia norvegiana, a 70° di latitudine, nell'inverno dal 1838 al 1839.

Alla sera fra le 4 e le 8 ore, la nebbia che regna abitualmente al nord di Bossekop si colora alla parte superiore. Questo lucore diventa più regolare e forma un arco vago di un giallo pallido colla concavità rivolta verso la terra e la cui sommità si trova sensibilmente nel meridiano magnetico.

Ben presto alcune strisce nerastre dividono regolarmente le parti luminose dell'arco. Si formano dei raggi luminosi che si allungano e si raccorciano lentamente od istantaneamente, ed il loro splendore aumenta e diminuisce in un subito. Le parti basse di questi raggi presentano sempre la luce più viva e formano un arco più o meno regolare. La lunghezza dei raggi è assai varia, ma corvergono tutti verso un punto del cielo indicato dal prolungamento dell'estremità sud dell'ago di inclinazione; qualche volta i raggi si prolungano fino al loro punto di concorso e rappresentano così la sezione di una cupola luminosa.

L'arco continua ad ascendere verso lo zenit, presentando nel suo splendore un moto ondulatorio. Talvolta uno de'suoi estremi, ed anche tutti e due, abbandonano l'orizzonte. Allora le pieghe sono più pronunciate e più numerose; l'arco non è più che una lunga lista luminosa che si avvolge e si rivolge e si separa in parecchie parti, formando delle curve graziose che si piegano sopra sè stesse e presentano ciò che si chiama la *corona boreale*. Lo splendore dei raggi, cangiando subitamente di intensità, raggiunge quello delle stelle di primo ordine; i raggi dardeggiano con rapidità, le curve si avvolgono e si svolgono come le spire di un serpente (fig. 669). Indi i raggi si colorano; la base è rossa, la metà è verde ed il resto conserva la sua tinta giallo-

chiara. Infine lo splendore diminuisce, i colori spariscono, il tutto si indebolisce a poco a poco o si spegne istantaneamente.

La commissione scientifica del Nord osservò, in 200 giorni, 150 aurore boreali; ma sembra che ai poli le notti senza aurora boreale siano affatto eccezionali, di modo che ve ne siano tutte le notti, di un'intensità però assai variabile. Le aurore boreali sono visibili a distanze considerevoli dal polo e sopra un'estensione immensa. Talvolta una stessa aurora boreale fu vista nel medesimo tempo a Mosca, a Varsavia, a Roma, a Cadice.

Fig. 669.

Furono fatte numerose ipotesi sulla causa delle aurore boreali. La direzione costante del loro arco rispetto al meridiano magnetico e le perturbazioni che esercitano sulle bussole (595) indicano che esse debbono essere attribuite a correnti elettriche che si svolgono dai poli verso le alte regioni dell'atmosfera. Questa ipotesi è confermata dal fatto, osservato il 29 agosto e il 1 settembre 1859, in Francia e in quasi tutta l'Europa, che due brillanti aurore boreali agirono potentemente, sui fili dei telegrafi elettrici: i campanelli furono per lungo tempo agitati, e i dispacci frequentemente interrotti pel giuoco spontaneo ed anormale degli apparecchi. Secondo De La Rive, l'aurora boreale sarebbe dovuta a scariche elettriche operantesi nelle regioni polari tra l'elettricità positiva dell'atmosfera e l'elettricità negativa del globo terrestre; elettricità separate esse pure dall'azione diretta o indiretta del sole, principalmente nelle regioni equatoriali.

Climatologia.

812. **Temperature medie.** — Chiamasi *temperatura media*, o semplicemente *temperatura* di un giorno, quella che si ottiene facendo la somma di 24 osservazioni termometriche fatte successivamente di ora in ora,

e dividendola per 24. L'esperienza ha insegnato che si ottiene assai approssimativamente questa temperatura prendendo la media fra le temperature massima e minima del giorno e della notte, le quali si determinano per mezzo di termometri a massimo ed a minimo (268). Questi debbono essere difesi dai raggi solari, elevati al di sopra del suolo, e lontani da tutti i corpi che potrebbero influenzarli col loro irradiamento.

La temperatura di un mese è la media di quella dei 30 giorni, e la temperatura dell'anno è la media di quella dei 12 mesi. Infine, la temperatura di un luogo è la media della sua temperatura annuale durante un gran numero di anni. La temperatura media di Parigi è 10°,8. In ogni caso queste temperature sono quelle dell'aria e non quelle del suolo (415).

813. **Cause che modificano la temperatura dell'aria.** — Le cause che fanno variare la temperatura dell'aria sono principalmente la latitudine, l'altezza, la direzione dei venti e la vicinanza dei mari.

1.° *Influenza della latitudine.* — L'influenza della latitudine risulta dalla maggiore o minore obbliquità dei raggi solari, perchè la quantità di calorico assorbito essendo tanto maggiore quanto più i raggi si avvicinano all'incidenza normale (387), ne risulta che il calorico assorbito dal suolo decresce dall'equatore verso i poli, giacchè i raggi sono sempre più obbliqui all'orizzonte. Tuttavia, questa perdita durante l'estate nelle zone temperate e nelle zone glaciali, è compensata in parte dalla lunghezza dei giorni. Sotto l'equatore, ove la lunghezza dei giorni è costante, la temperatura è quasi invariabile; alla latitudine di Parigi, ed anche nelle regioni più settentrionali, ove i giorni sono assai disuguali, la temperatura varia molto; ma, durante l'estate, si eleva talvolta quasi come sotto all'equatore. Del resto, l'abbassamento di temperatura risultante dalla latitudine è assai lento; così, in Francia, per esempio, bisogna avanzare verso il nord di 185 chilometri per trovare un raffreddamento di un grado nella temperatura dell'aria.

2.° *Influenza dell'altezza.* — L'altezza al di sopra del livello dei mari imprime alla temperatura dell'atmosfera un abbassamento molto più rapido di quello che risulta dalla latitudine. Infatti, in una ascensione sul Monte Bianco, Saussure osservò un abbassamento di temperatura di 1 grado per un'altezza di 144 metri, ed Humboldt, sul Cimborasso, trovò 1 grado di abbassamento per 218 metri. Prendendo la media fra questi due numeri si ha un raffreddamento di 1 grado per un'altezza di 181 metri, il che dà un decremento di temperatura quasi di mille volte più rapido per l'altezza che per la latitudine.

La legge dell'abbassamento di temperatura a misura che si eleva nell'atmosfera non è conosciuta a motivo delle molte cause perturbatrici che tendono a modificarla; tali cause sono i venti regnanti, il grado di umidità, l'ora della giornata, ecc. L'esperienza insegna che la differenza di temperatura di due luoghi disugualmente elevati non è proporzionale alla differenza di livello, ma che per altezze poco considerevoli si può ammettere approssimativamente questa legge. L'abbassamento di temperatura dell'aria in media si valuta di 1° per 187 metri d'elevamento nella zona torrida, e di 1° per 150 metri nella zona temperata; ma questi numeri possono variare assai a norma delle circostanze locali.

Il raffreddamento dell'aria a misura che si eleva nella alte regioni dell'atmosfera, si constata nelle ascensioni aerostatiche; ciò che lo prova

sono anche le perpetue nevi che ricoprono le sommità delle alte montagne. Nelle Alpi, il limite delle nevi perpetue si trova alla altezza di 2 710 metri. Le cause della bassa temperatura che domina nelle alte regioni dell'atmosfera sono: 1.° la grande rarefazione dell'aria, la quale diminuisce il suo potere assorbente; 2.° la lontananza dal suolo che non può riscaldare l'aria col suo contatto; 3.° il gran potere diatermano dei gas (389); 4.° finalmente la diminuzione di pressione, in conseguenza della quale l'aria calda che si solleva dal suolo si dilata considerevolmente; ora si è veduto che questa dilatazione è una sorgente di freddo intenso (427).

3.° *Influenza della direzione dei venti.* — Siccome i venti partecipano necessariamente della temperatura delle regioni che hanno attraversate, la loro direzione, per uno stesso luogo, ha una grande influenza sulla temperatura dell'aria. A Parigi, il vento più caldo è quello di sud; in seguito vengono i venti di sud-est, di sud, ovest, di ovest, di est, di nord-ovest, di nord, ed infine il vento di nord-est, che è il più freddo. Del resto, il carattere dei venti cangia colle stagioni; il vento di est, per esempio, che è freddo d'inverno, è caldo d'estate.

4.° *Influenza della vicinanza dei mari.* — La vicinanza dei mari tende ad elevare la temperatura dell'aria ed a renderla più uniforme. Infatti si osserva che sotto i tropici e principalmente nelle regioni polari, la temperatura dei mari è sempre più elevata di quella dell'atmosfera. Riguardo all'uniformità di temperatura dei mari, l'esperienza insegna che nelle regioni temperate, comprese cioè tra i 25 ed i 50 gradi di latitudine, la differenza di temperatura fra la massima e la minima di una giornata non oltrepassa nel mare 2 a 3 gradi, mentre sul continente questa differenza può giungere fino ai 12 o 15 gradi. Nelle isole l'uniformità di temperatura è assai sensibile anche durante i maggiori caldi. Nei continenti, a latitudine uguale, gli inverni sono più freddi, e la differenza fra le temperature degli estati e degli inverni diventa maggiore.

814. **Linee isotermiche.** — Quando si congiungono fra loro sopra una carta tutti i punti la cui temperatura media è la stessa, si ottengono delle curve che Humboldt pel primo fece conoscere, e che esso denominò *linee isotermiche.* Se la temperatura di un luogo variasse solo coll'obbliquità dei raggi solari, cioè colla latitudine, le linee isotermiche sarebbero altrettante parallele all'equatore; ma siccome questa temperatura varia con parecchie cause locali e principalmente coll'altezza, queste linee sono sempre più o meno sinuose. Però, sui mari esse si allontanano poco dal parallelismo. Si considerano pure delle *linee isotere* (di egual estate), e delle *linee isochimene* (di egual inverno). Infine, si chiama *zona isotermica* lo spazio compreso fra due linee isotermiche.

Le figure 670 e 671 rappresentano le sinuosità delle linee isotermiche nei due emisferi nord e sud, quest'ultimi essendo tracciati in proiezione stereografica sul piano dell'equatore. Queste due carte sono la riduzione a $\frac{2}{5}$ presso a poco di quelle pubblicate da Gide nel bello atlante del *Cosmos* di Humboldt. Le linee isotermiche corrispondono alle temperature medie di 5 in 5 gradi, da — 15 fino a + 25 gradi. Al di là è l'*equatore termico*, vale a dire la linea che riunisce tutti i punti aventi la temperatura media annuale più alta. Questa linea è segnata

+ 28°. Si scorge che essa non è parallela all'equatore, ma se ne scosta nel golfo d'Oman fino all'approssimarsi del parallelo del 15°; poi passa nell'emisfero sud alle isole Célèbes, si avvicina alle isole Salomone, e ritorna a intersecare l'equatore a 157° di longitudine occidentale.

All'ispezione della figura 670, si osserva che avvicinandosi al polo nord, le curve isotermiche si allungano di più in più dall'est all'ovest,

Fig. 670.

e che al di là della linea — 15° v'ha sdoppiamento in due curve distinte attorno dei due punti P, P′, che si chiamarono *poli di freddo*, e dei quali Arago ha giudicato col calcolo la temperatura media a — 25°. Uno di questi poli è situato in America, presso le isole Parry, l'altro in Asia.

Le linee isotermiche dell'emisfero sud sono meno ben conosciute di quelle dell'emisfero nord; ma la figura 671 mostra che esse sono molto più regolari, ciò che dipende dai vasti mari dell'emisfero australe.

Mediante le linee isotermiche è facile seguire, alla superficie della terra, le differenti zone caratteristiche per il rigore o la dolcezza della loro temperatura media. Per esempio, la zona temperata di + 10 a + 15 gradi, che, in Europa, è compresa fra le latitudini di 50 a 42 gradi, è situata, nell'America del Nord, fra le latitudini molto più meridionali di 40 a 36 gradi.

815. **Climi.** — Si intende per *clima* l'insieme delle variazioni atmosferiche che caratterizzano una contrada: la temperatura media annuale, le temperature estiva ed invernale, l'umidità dell'aria e del suolo, i venti, la pressione barometrica, la serenità del cielo. Si distinguono sette climi, classificati secondo le loro temperature medie annuali: 1.° *clima abbruciante,* dai 27°,5 ai 25 gradi; — 2.° *clima caldo,* dai 25

Fig. 671.

ai 20 gradi; — 3.° *clima dolce,* dai 20 ai 15 gradi; — 4.° *clima temperato,* dai 15 ai 10 gradi; — 5.° *clima freddo,* dai 10 ai 5 gradi; — 6.° *clima freddissimo*, dai 5 gradi a zero; — 7.° *clima ghiacciato*, al disotto di zero.

Questi climi si suddividono in *climi costanti,* la cui differenza di temperatura fra l'inverno e l'estate non oltrapassa 6 ad 8 gradi; in *climi variabili*, di cui la stessa differenza si eleva da 16 a 20 gradi; ed in *climi eccessivi*, pei quali questa differenza è maggiore di 30 gradi. I climi di Parigi e di Londra sono variabili; quelli di Pechino e di Nuova-York sono eccessivi. I climi delle isole sono generalmente poco variabili, giacchè la temperatura del mare è presso a poco costante; d'onde anche la distinzione in *climi marini* e *climi continentali.* Il carattere dei climi marini è che la differenza di temperatura fra l'estate e l'inverno è sempre molto minore che pei climi continentali. Del resto, la

temperatura più o meno elevata non è il solo carattere che determina i climi; essi lo sono anche dalla maggiore o minor umidità dell'aria, dalla quantità e frequenza delle pioggie, dal numero dei temporali, dalla direzione ed intensità dei venti, ed infine dalla temperatura del suolo. Tutte queste cause riunite fan sì che lo studio dei climi, o *climatologia*, è ancora una scienza assai poco conosciuta.

816. **Distribuzione della temperatura alla superficie del globo.** — La temperatura dell'aria alla superficie del globo va decrescendo dall'equatore ai poli; ma è soggetta a cause perturbatrici così numerose e talmente locali che il suo decremento non sembra sottomesso ad alcuna legge generale. Non si può fin qui constatare per mezzo di numerose osservazioni, che la temperatura media di ciascun luogo, o le temperature massima e minima. La tavola seguente presenta un riassunto della distribuzione del calore nell'emisfero settentrionale.

Temperature medie a diverse latitudini.

Luogo	Temp.	Luogo	Temp.
Abissinia	31°,0	Parigi	10°,8
Calcutta	28°,5	Londra	10°,4
Giamaica	26°,1	Brusselle	10°,2
Senegal (San Luigi)	24°,6	Strasburgo	9°,8
Rio-Ianeiro	23°,1	Genova	9°,7
Cairo	22°,4	Boston	9°,3
Costantina	17°,2	Stoccolma	5°,6
Napoli	16°,7	Mosca	3°,6
Messico	16°,6	Pietroburgo	3°,5
Marsiglia	14°,1	Monte San Gottardo	— 1°,0
Costantinopoli	13°,7	Mare di Groenlandia	— 7°,7
Pechino	12°,7	Isola Melville	— 18°,7

Le temperature ora esposte sono temperature medie; la più alta temperatura alla superficie del globo fu di 47°,4 a Esné, in Egitto, e la più bassa di — 56°,7, a Fort-Reliance, al nord dell'America; il che dà una differenza di 104°,1 fra le temperature osservate sui differenti punti del globo.

La temperatura più alta osservata a Parigi fu di 38°,4, il giorno 8 giugno 1793, e la più bassa di — 23°,5, il 26 dicembre 1798.

817. **Temperatura dei laghi, dei mari e delle sorgenti.** — La temperatura del mare, fra i tropici, è generalmente presso a poco uguale a quella dell'aria; nelle regioni polari, il mare è sempre più caldo dell'atmosfera.

La temperatura del mare, alla superficie, sotto la zona torrida, è costantemente di 26 a 27 gradi; diminuisce coll'aumentare della profondità, e, sì nelle regioni temperate che nelle regioni tropicali, la temperatura del mare a grandi profondità si mantiene fra 2°,5 e 3°,5. La bassa temperatura degli strati inferiori si spiega per effetto delle correnti sottomarine, le quali portano verso l'equatore l'acqua fredda dei mari polari.

La temperatura dei laghi presenta delle variazioni assai più grandi di quella dei mari; la loro superficie, che nell'inverno può congelarsi, in estate si riscalda fino a 20 o 25 gradi. Il fondo, all'incontro, conserva sensibilmente una temperatura di 4 gradi, che è quella del massimo di densità dell'acqua (289).

Le sorgenti, essendo provenienti dalle acque pluviali che si sono infiltrate nella scorza del globo, a profondità più o meno considerevoli, tendono necessariamente a mettersi in equilibrio di temperatura cogli strati terrestri che attraversano (415). Quindi, allorchè giungono alla superficie del suolo, la loro temperatura dipende dalla profondità a cui son giunte; se questa profondità è quella dello strato invariabile, la temperatura delle sorgenti è di 11 a 12 gradi nelle nostre regioni, ove tale è la temperatura di questo strato, ed ha presso a poco la temperatura media annuale. Però, se la sorgente è poco abbondante, la sua temperatura è elevata in estate e raffreddata in inverno da quella degli strati che attraversa per arrivare dallo strato invariabile fino alla superficie del suolo. Ma se le sorgenti giungono da una profondità maggiore di quella a cui trovasi lo strato invariabile, la loro temperatura può oltrepassare di molto la temperatura media del luogo, ed esse prendono allora il nome di *acque termali*. Ecco la temperatura di alcune acque termali:

In Francia.	Wichy	40°
—	Mont-Dore	44°
—	Bourbonne	50°
—	Dax (Landes)	60°
—	Chaudes-Aigues	88°
In America.	Trincheras, vicino a Puerto-Cabello	97°
In Islanda.	Le Grand Geyser, a 20 metri di profondità	124°

Per la loro alta temperatura le acque termali acquistano la proprietà di sciogliere parecchie delle sostanze minerali che incontrano nel loro passaggio, ed allora si indicano col nome di *acque minerali*. Le sostanze che tengono disciolte il più delle volte sono gli acidi solforoso, solfidrico, cloridrico, solforico e dei solfuri, degli iposolfiti, dei solfati, dei carbonati, dei cloruri e degli ioduri.

La temperatura delle acque termali, in generale, non è modificata dall'abbondanza delle pioggie o dalla siccità; ma lo è dai terremoti, dopo i quali la si vide alcune volte innalzarsi ed altre abbassarsi.

818. **Distribuzione delle acque alla superficie del globo.** — La distribuzione delle acque alla superficie del globo esercita una grande influenza sui climi. Le acque presentano una superficie assai maggiore di quella dei continenti, e la loro distribuzione è assai disuguale nei due emisferi. Infatti, la superficie del globo in miriametri quadrati essendo di 5 100 000, si trova che quella dei mari e dei laghi è di 3 700 000 miriametri quadrati, mentre quella dei continenti e delle isole 1 400 000; cioè la superficie delle acque è presso a poco tre volte maggiore di quella delle terre. Nell'emisfero australe, la superficie dei mari è maggiore che nell'emisfero boreale nel rapporto di 13 a 9.

La profondità dei mari varia di molto. Lo scandaglio trova il fondo, in generale, a 300 o 400 metri; ma in ampio mare discende sovente a 1 200, e talvolta non raggiunge il fondo a 4 000 metri.

Secondo questi numeri la massa totale delle acque alla superficie del globo non sorpassa uno strato liquido che avrebbe 1 000 metri di altezza ed avvolgerebbe tutta la terra.

RACCOLTA

DI PROBLEMI DI FISICA, COLLA SOLUZIONE,

DATI PER ARGOMENTI DI COMPOSIZIONE ALLA FACOLTA' DELLE SCIENZE DI PARIGI,

DAL 1853 AL 1863

PRECETTI GENERALI SULLA RISOLUZIONE DEI PROBLEMI DI FISICA

Oggetto dei problemi di fisica. — I problemi di fisica sono veri problemi di matematica, nei quali però è una legge fisica che lega le quantità cognite colla incognita.

Codesti problemi sono una applicazione dell'algebra alle scienze fisiche. Perciò generalmente, in essi, si usano le lettere a rappresentare non solamente le quantità incognite, ma anche le conosciute; per esempio, con V sogliousi rappresentare i volumi, con D le densità, con P i pesi, con t le temperature, con F le forze elastiche dei vapori.

Così operando, non solamente si generalizza e si ottengono delle espressioni algebriche, o *formole*, che si applicano a tutte le quistioni di una stessa forma, ma si rendono più semplici e più brevi i calcoli. E cotali semplificazioni ed abbreviazioni sono tali che riesce vantaggioso per gli allievi, anche trattandosi di un problema i cui dati siano numerici, di rappresentare questi dati con lettere, di risolvere così la quistione in un modo generale, per poi sostituire, nella formola trovata, alle lettere i valori particolari che ad esse corrispondono.

In codesto modo, gli allievi opereranno più presto, eviteranno quegli errori che tanto facilmente si commettono in un lungo calcolo numerico; e se, finalmente, la formola generale che hanno ottenuta è giusta, gli errori di calcolo che potrebbero fare in seguito, sostituendo alle lettere i loro valori numerici, sarebbero ben compensati dall'esattezza del calcolo algebrico.

Risoluzione dei problemi di fisica. — Siano i dati di un problema rappresentati in lettere od in numeri; la sua risoluzione si compone sempre di due parti ben distinte: 1.° *la sua esposizione in equazione*, vale a dire la traduzione in equazione della relazione che sussiste tra l'incognita del problema e le quantità cognite; 2.° *la risoluzione della equazione*.

La seconda parte tutt'affatto algebrica, esige soltanto che si sappia risolvere una equazione di primo o di secondo grado, operazione sempre facile e soggetta a regole invariabili, che gli allievi devono rendersi famigliari fin da prima di tentare i problemi di fisica.

Relativamente alla esposizione in equazione del problema, si ponno considerare due casi: 1.° quello di problemi risolvibili mediante una delle formole già conosciute; 2.° quello

di problemi che non dipendono direttamente da alcuna formola data anteriormente e che conseguentemente esigono per essere risolti un lavoro analitico speciale. Da ciò due generi di problemi di cui ci occuperemo tosto.

Problemi che si risolvono colle formole date nel corso. — Questi problemi comprendono la quasi totalità delle quistioni elementari di fisica, e offrono questo vantaggio, che la esposizione in equazione si trova già fatta mediante l'impiego delle formole già conosciute; giacchè queste equazioni essendo le equazioni di quei problemi stabiliti a priori in un modo generale, non si ha che risolverle, in ciascun caso particolare, riguardo alla lettera che rappresenta l'incognita che si cerca.

Le formole che servono così alla risoluzione dei problemi di fisica sono semplici e poche. Infatti se riassumiamo le formole date nel corso, troviamo:

GRAVITA'

		Pagine
[1] Bilancia	$x = \sqrt{pp'}$	31
[2] Caduta dei corpi	$v = gt$; $e = \frac{1}{2} gt^2$	36
[3] Pendolo	$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$	40

IDROSTATICA

[4] Principio di Pascal	$Ps = pS$	55
[5] Vasi comunicanti	$dh = d'h'$	62
[6] Pesi specifici	$P = VD$	76

GAS

[7] Legge di Mariotte	$PV = P'V'$	112
[8] Miscuglio dei gas	$F = \frac{fv + f'v' + f''v''}{V}$	118
[9] Perdita di peso nell'aria	$p\left(1 - \frac{0{,}001293}{d}\right) = P\left(1 - \frac{0{,}001293}{D}\right)$	121
[10] Peso portato da un pallone	$X = \frac{4\pi R^3}{3}\left(a - a'\right) - \frac{4\pi R^2 p}{100} - P$	126
[11] Tensione nella macchina pneumatica	$F = H\left(\frac{V}{V + v}\right)^n$	132

ACUSTICA

[12] Velocità del suono a t gradi	$v' = v\sqrt{1 + \alpha t}$	153
[13] Vibrazioni delle corde	$n = \frac{1}{rl}\sqrt{\frac{gP}{\pi d}}$	169
[14] Tubi chiusi	$n = \frac{(2p + 1)v}{4L}$	180
[15] Tubi aperti	$n = \frac{pv}{2L}$	180

CALORICO

		Pagine
[16] Scale termometriche	$t_c = t_r \times \frac{5}{4}$; $t_c = (t_f - 32)\,\frac{5}{9}$	203
[17] Dilatazione lineare	$l' = l\,(1 + kt)$	215
[18] Dilatazione cubica	$V' = V\,(1 + Dt)$ o $V' = V\,(1 + 3kt)$	216
[19] Densità a t gradi	$d' = \frac{d}{1+Dt}$	217
[20] Pendolo compensatore	$lk = l'k'$	218
[21] Correzione della altezza barometrica	$H_0 = \frac{H_t \times 5550\,(1 + kt)}{5550 + t}$	223
[22] Dilatazione dei gas	$V' = V\,(1 + at)$	227
[23] Densità dei gas	$D = \frac{(P - p)\,(H' - e')}{(P' - p')\,(H - e)}$	234
[24] Miscuglio dei gas e dei vapori saturi	$P = \frac{1^{gr},293\ V}{(1 + \alpha t)\,76}\left(H - \frac{3}{8}F\right)$	267
[25] Miscuglio dei gas e dei vapori non saturi	$P = \frac{1^{gr},293\ V}{(1 + \alpha t)\,76}\left(H - \frac{3}{8}FE\right)$	281
[26] Calorici specifici, metodo delle mescolanze	$Mc\,(T - \theta) = m\,(\theta - t) + m'c'\,(\theta - t)$	283
[27] Id. metodo del calorimetro a ghiaccio	$mlc = 79\ P$	285
[28] Calorico latente di fusione	$Mc\,(T - \theta) + Mx = m\,(\theta - t)$	288
[29] Id. della fusione del ghiaccio	$Mx + M\theta = m\,(t - \theta)$	288

OTTICA

[30] Fotometro	$\frac{i}{i'} = \frac{d^2}{d'^2}$	345
[31] Specchi concavi	$\frac{1}{p'} + \frac{1}{p} = \frac{2}{R}$	363

Osservazioni sulle formole precedenti. — È rimarchevole che in generale le formole suesposte comprendono ciascuna altrettanti problemi quante sono le quantità variabili che contengono. Ad esempio, colla formola [6], $P = VD$, si può proporsi di calcolare il peso di un corpo quando si conosca il suo volume e la sua densità; oppure, di trovare il volume quando si conosca il peso e la densità, ciò che dà $V = \frac{P}{D}$; o, finalmente, essendo dati il peso e il volume, determinare la densità, $D = \frac{P}{V}$.

Si troverebbe nello stesso modo che la formola [3] dà luogo a tre problemi.

Riguardo alla formola [4], quantunque essa racchiuda quattro variabili, essa non dà realmente luogo che a due problemi; poichè essendo simmetrica rapporto alle due pressioni P e p, come per rapporto alle superficie S e s, essa non comprende che due enun-

ciati diversi, l'uno relativo alle pressioni, l'altro alle superficie. La stessa osservazione si applica alle equazioni [3], [7] e [30].

Se si cerca quanti enunciati di problemi comprenda ciascuna formola data qui sopra, se ne trovano più di cento, dei quali diversi sono di secondo grado. Tuttavia, questa moltiplicità non è che apparente quanto al calcolo; giacchè tutti i problemi compresi in una stessa formola si trattano per mezzo della stessa equazione, che si risolve successivamente per riguardo a ciascuna delle quantità variabili che essa racchiude.

Riassumendo quanto è stato detto fin qui, si scorge che essendo posto un problema che si appoggi su una delle formole date nel corso, la sua risoluzione dipende da un calcolo algebrico elementare: la risoluzione di una equazione del primo o del secondo grado. Evidentemente non è codesta cosa che deve arrestar gli allievi, e tuttavia buon numero di essi non riescono appunto nella risoluzione dei problemi; ciò che accade piuttosto per mancanza d'abitudine del calcolo algebrico ed anche del calcolo numerico, che non per la difficoltà reale dei problemi considerati sotto il punto di vista fisico. Perciò non sarà loro mai abbastanza raccomandato di familiarizzarsi col calcolo letterale, il quale è meno difficile e meno lungo che non si creda comunemente.

Problemi le cui risoluzioni non dipendono dalle formole del corso. — Codesti problemi presentano maggiore difficoltà di quelli che si sono considerati qui sopra; giacchè la loro equazione non essendo data a priori, bisogna trovarla. Ma se la risoluzione della equazione di un problema è soggetta a delle regole precise e invariabili, lo stesso non accade della traduzione del problema stesso in equazione. E infatti, poichè la via da seguirsi, per così dire, muta al mutarsi del problema, non è possibile di dare agli allievi delle regole sicure e costanti. Quanto abbisogna è una grande abitudine, ed anche uno spirito di ricerca e di analisi che non s'acquista sempre. Tuttavia si può, in molti casi, trovare vantaggio nell'applicazione della seguente regola che Lacroix, pel primo, diede onde tradurre in equazione i problemi di algebra:

Rappresentare la quantità che si cerca con una lettera, poi, ragionando su questa lettera, assolutamente come se la quantità che essa rappresenta fosse conosciuta, indicare successivamente, su di essa e sulle quantità conosciute del problema, la stessa serie di operazioni che si dovrebbero effettuare per verificare l'incognita se essa fosse trovata.

Codesta regola ben capita e ben applicata, può condurre sovente all'equazione del problema, come se ne vedranno esempi nei problemi che seguono:

Formole di geometria utilizzate nella risoluzione dei problemi di fisica. — In moltissimi problemi di fisica, si hanno a misurare volumi o superficie di prismi, di piramidi, di cilindri, di coni, o di sfere. È dunque necessario di ricordarsi le formole che servono a calcolare queste quantità. Noi le richiamiamo qui, rappresentando con H le altezze, con B le basi, con R e r i raggi dei circoli, o delle sfere, e con D i diametri.

Volume della piramide	$B \times \frac{1}{3} H.$
Superficie laterale della piramide regolare .	*Perimetro della base* $\times \frac{1}{2}$ *apotema.*
Volume del tronco di piramide	$(B + b + \sqrt{Bb}) \times \frac{1}{3} H.$
Volume del prisma	$B \times H.$
Superficie laterale dello stesso	*Perimetro della base* $\times$ H.
Volume del cilindro	$\pi R^2 \times H.$
Superficie laterale del prisma retto . . .	$2\pi R \times H.$
Volume del cono	$\pi R^2 \times \frac{1}{3} H.$
Superficie laterale dello stesso	$\pi R \times C.$

Volume del tronco di cono . . . . $(\pi R^2 + \pi r^2 + \pi R r) \times \frac{1}{3} H$.

Superficie laterale dello stesso . . . . . $\pi (R + r) \times C$.

Volume della sfera . . . . $\frac{4\pi R^3}{3}$, o $\frac{\pi D^3}{6}$.

Superficie della stessa . . . . $4\pi R^2$.

Nell'uso di queste formole, le quantità R, H, C, D, devono essere espresse in decimetri o in centimetri, secondo che negli enunciati si troveranno dei chilogrammi o dei grammi.

Posti codesti preliminari, passiamo alla risoluzione dei problemi spettanti ai diversi rami di fisica, scegliendo di preferenza quelli che sono stati dati in soggetto di composizione.

GRAVITA', ATTRAZIONE UNIVERSALE

I. — Un corpo essendo posto successivamente nei due bacini di una bilancia, esigonsi, per fargli equilibrio, nel primo bacino, 180 grammi, e nel secondo 181; si domanda il peso del corpo a meno di 1 milligrammo.

Secondo la formola conosciuta $x = \sqrt{pp'}$ (51), si ha $x = \sqrt{180 \times 181}$ = grammi 180,499.

II. — Si suppone che un uomo sollevi contemporaneamente 125 proiettili da cannone del peso di 2 chilogrammi; si domanda qual sarebbe il numero di proiettili simili che egli potrebbe sollevare, spiegando la stessa forza muscolare, se la terra avesse il volume della luna, poste uguali le altre circostanze. Il raggio della terra essendo preso per unità, si prenderà il raggio della luna eguale a 0,27234, e non si terrà conto dello schiacciamento della terra e della luna ai loro poli.

Siano R il raggio della terra e M la sua massa; siano ancora r e m il raggio e la massa della luna; siano finalmente P il peso portato alla superficie della terra, il raggio essendo R; P′ quello che sarebbe portato se, la massa della terra rimanendo la stessa, il suo raggio fosse r; e P″ il peso che sarebbe portato, sempre alla superficie della terra se, col raggio r, essa avesse la massa m della luna.

I due pesi P e P′ essendo, a massa eguale, direttamente proporzionali ai quadrati delle loro distanze al centro della terra (37), si ha $\frac{P}{P'} = \frac{R^2}{r^2}$ [1]; all'incontro i pesi P′ e P″ essendo, a distanza eguale, in ragione inversa delle masse, si ha $\frac{P'}{P''} = \frac{m}{M}$, o, ciò che vale lo stesso, a densità eguale, $\frac{P'}{P''} = \frac{r^3}{R^3}$ [2], giacchè, a densità eguale, le masse sono proporzionali ai volumi e questi ai cubi dei raggi. Moltiplicando fra loro membro con membro le equazioni [1] e [2], si ottiene $\frac{P}{P''} = \frac{r}{R}$; da cui $P'' = P \times \frac{R}{r} = \frac{250^{chil}}{0,27234} =$ 918chil. Dunque il numero dei proiettili cercato è $\frac{918}{2} = 459$. Per gli altri problemi sulla gravità, vedi quelli che sono stati dati ai paragrafi 53, 55, 59, 62 e 63.

IDROSTATICA, CORPI GALLEGGIANTI

I diversi problemi di idrostatica si fondano sui principii dell'eguaglianza di pressione (79), dei vasi comunicanti (89), d'Archimede (95) e dei corpi galleggianti (97); gli

è dunque su uno di questi principii che bisogna appoggiarsi per tradurre in equazione uno di questi problemi.

III. — La forza colla quale si mette in azione un torchio idraulico è di 20^{chil}; il braccio di leva sul quale agisce questa forza eguaglia 5 volte quello della resistenza; finalmente, la superficie dello stantuffo maggiore è 70 volte quella del minore. Si domanda la pressione trasmessa sullo stantuffo maggiore.

Rappresentando con F la potenza, e con p la pressione esercitata dalla leva sullo stantuffo minore, si ha, dal principio delle leve (45), $p \times 1 = F \times 5$ [1]. Ora, sia P la pressione trasmessa allo stantuffo maggiore, si ha, dietro il principio di eguaglianza di pressione (79), $P \times 1 = p \times 70$ [2]. Sostituendo in questa equazione il valore di p dato dall'equazione [1], si ottiene $P = 70 \times 5 \times F = 70 \times 5 \times 20^{chil} = 7000^{chil}$.

IV. — Uno dei rami di un sifone è empiuto di mercurio fino ad un'altezza di $0^m,175$, l'altro è empiuto di un altro liquido ad un'altezza di $0^m,42$; così queste due colonne si fanno equilibrio. Si domanda la densità del secondo liquido riguardo al mercurio e rapporto all'acqua; la densità del mercurio essendo 13,6.

Rappresentando con d la densità riguardo al mercurio, e con d' la densità rapporto all'acqua, si ha (89) $1 \times 0,175 = 0,42 \times d$, e $13,6 \times 0,175 = 0,42 \times d'$; da cui $d = 0,416$ e $d' = 5,666$.

V. — Quale sforzo si esigerebbe per sostenere, nel mercurio a zero, un decimetro cubico di platino, supponendosi la densità del mercurio eguale a 13,6 e quella del platino a 21,5?

Secondo la formola P = VD, il peso del decimetro cubico di platino, in chilogrammi, è $1 \times 21,5 = 21^{chil},5$; per la stessa formola, il peso del mercurio spostato dal platino è $1 \times 13,6 = 13^{chil},6$. Ora, secondo il principio di Archimede, il platino immerso perde una parte del suo peso eguale a quello del mercurio spostato; il suo peso in questo liquido è dunque $21^{chil},5 - 13^{chil},6$ o $7^{chil},9$; tale è dunque lo sforzo cercato.

VI. — È dato un corpo A, che nell'aria pesa $7^{gr},55$, nell'acqua $5^{gr},17$, e in un altro liquido B, $6^{gr},35$; con questi dati trovare la densità del corpo A e del liquido B.

Secondo l'enunciato, il peso del corpo A perde nell'acqua $7^{gr},55 - 5^{gr},17, = 2^{gr},38$; è il peso dell'acqua spostata. Nel liquido B perde $7^{gr},55 - 6^{gr},35 = 1^{gr},20$; è il peso del liquido B sotto lo stesso volume di quello del corpo e dell'acqua. Per conseguenza, il peso specifico del corpo A è $\frac{755}{238} = 3,173$, e quello del liquido B è $\frac{120}{238} = 0,504$ (101).

VII. — Si ha un cubo di piombo di 4 centimetri di lato che si vuol sostenere nell'acqua sospendendolo ad una sfera di sughero. Quale diametro deve avere quest'ultimo, perchè la sua spinta dal basso in alto faccia equilibrio al peso del cubo di piombo; il peso specifico di questo corpo essendo 11,35, e quello del sughero 0,24?

Il volume del cubo di piombo è 64 centimetri cubici; per conseguenza, il suo peso nell'aria è $64 \times 11,35$ e il suo peso nell'acqua è $64 \times 11,35 - 64 = 662^{gr},40$.

Se si rappresenta con r il raggio della sfera di sughero, in centimetri, il suo volume, in centimetri cubici, sarà $\frac{4\pi r^3}{3}$; dunque il suo peso, in grammi, sarà $\frac{4\pi r^3 \times 0,24}{3}$. Ciò posto, il peso dell'acqua spostata dalla sfera di sughero essendo evidentemente, in grammi, $\frac{4\pi r^3}{3}$, ne risulta una spinta dal basso all'alto eguale a

$$\frac{4\pi r^3}{3} - \frac{4\pi r^3 \times 0,24}{3} = \frac{4\pi r^3 \times 0,76}{3}.$$

Ora, questa spinta deve uguagliare il peso del piombo; dunque $\frac{4\pi r^3 \times 0,79}{3} = 662^{gr},40$,

$$\text{da cui } r = \sqrt[3]{\frac{1987,20}{3,04 \times 3,1416}} = 5^{centim},92;$$

dunque il diametro $= 11^{centim},84$.

VIII. — Si vuol costruire una sfera cava, di rame, la quale, immersa che sia nell'acqua a 4°, vi si affonda soltanto fino alla metà; quale deve essere il rapporto dello spessore della parete della sfera col suo raggio esteriore; quest'ultimo essendo indeterminato, e la densità del rame essendo 8,788?

Siano, a 4°, R il raggio esterno e r il raggio interno; lo spessore della parete è $R - r$, e il rapporto cercato sarà $\frac{R-r}{R}$.

Ora, il volume esterno della sfera essendo $\frac{4\pi R^3}{3}$, e il suo volume interno $\frac{4\pi r^3}{3}$, il volume della parete è $\frac{4\pi R^3}{3} - \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{4\pi}{3}(R^3 - r^3)$, e il suo peso eguale a $\frac{4\pi}{3}(R^3 - r^3) \times 8,788$. D'altronde quello dell'acqua spostata essendo $\frac{1}{2} \cdot \frac{4\pi R^3}{3}$, si deve avere, sopprimendo il fattore comune $\frac{4\pi}{3}$,

$$(R^3 - r^3) \times 8,788 = \frac{R^3}{2}, \text{ da cui } R^3 \times 16576 = r^3 \times 17576;$$

$$\text{da cui si cava } \frac{R}{r} = \sqrt[3]{\frac{17576}{16576}} = 1,02.$$

Quest'ultima equazione dà successivamente

$$\frac{R}{1,02} = \frac{r}{1}, \quad \frac{R-r}{0,02} = \frac{R}{1,02}, \text{ e } \frac{R-r}{R} = \frac{2}{102} = \frac{1}{51};$$

vale a dire che lo spessore della parete è $\frac{1}{51}$ del raggio esterno.

IX. — Una sfera di platino pesa nell'aria 84^{gr}; nel mercurio essa non pesa che $22^{gr},6$; qual è la densità del platino?

La perdita di peso nel mercurio è $= 84^{gr} - 22^{gr},6 = 61^{gr},4$; da cui la densità del platino, rapporto al mercurio, è eguale a $\frac{84}{61,4}$. Ora, la densità dell'acqua essendo 13,6 volte minore di quella del mercurio, la densità del platino riguardo all'acqua deve essere 13,6 volte maggiore che per riguardo al mercurio; essa è dunque

$$\frac{84 \times 13,6}{61,4} = 18,53.$$

X. — Un parallelepipedo di ghiaccio le cui dimensioni sono $10^m,50$, $15^m,75$ e $20^m,45$, è immerso nell'acqua di mare; la densità del ghiaccio è 0,930 e quella dell'acqua di mare è 1,026. Si domanda quale sarà l'altezza del parallelepipedo al disopra della superficie del mare.

Supponiamo il parallelepipedo disposto come lo mostra la figura 672, e siano i suoi tre spigoli AB, AC e AD rispettivamente uguali a $20^m,45$, a $15^m,75$, a $10^m,50$. Il volume di un parallelepipedo essendo uguale al prodotto delle sue tre dimensioni, se si rappresenta con V il volume, in decimetri cubici, di tutta la massa di ghiaccio, si ha

$$V = AB \times AC \times AD, \text{ e il suo peso è } P = AB \times AC \times AD \times 0,930.$$

Egualmente, rappresentando con V' il volume di ghiaccio immerso, e con P' il peso di acqua di mare spostato, si ha

Fig. 672.

$$V' = AB \times AC \times DE,$$
$$\text{e } P' = AB \times AC \times DE \times 1{,}026.$$

Ora, dietro la condizione di equilibrio dei corpi galleggianti (97), il peso dell'acqua spostata è uguale al peso di tutto il corpo galleggiante; si ha dunque $P = P'$, e, sopprimendo i fattori comuni,

$$AD \times 0{,}930 = DE \times 1{,}026;$$

da cui $DE = \dfrac{AD \times 0{,}930}{1{,}026} = \dfrac{105^{dec} \times 0{,}930}{1{,}026} = 95^{dec},17.$

Dunque, l'altezza fuori dell'acqua è $105 - 95{,}17 = 9^{dec},83$.

XI. — *Un pezzo di legno, la cui densità è 0,729, ha la forma di un cono retto. Lo si fa galleggiare sull'acqua in modo che il suo asse sia verticale. Disponendolo successivamente col vertice in basso, poi col vertice in alto, si domanda quale frazione dell'altezza del cono si immergerà in ciascun caso.*

1.° Siano V il volume totale del cono, e v il volume della parte immersa; siano H e h le altezze dei due coni, D la densità del legno, d quella dell'acqua.

I volumi V e v essendo dello stesso peso, in ragione inversa delle loro densità, si ha dunque $\dfrac{V}{v} = \dfrac{d}{D}$, o $\dfrac{H^3}{h^3} = \dfrac{d}{D}$; da cui $h^3 = \dfrac{H^3 D}{d}$. d essendo eguale ad 1 e facendo anche $H = 1$, si ottiene $h = \sqrt[3]{D} = \sqrt[3]{0{,}729} = 0{,}9$ di H.

2.° Nella seconda posizione del cono, si ha $\dfrac{V}{V-v} = \dfrac{d}{D}$, o $\dfrac{H^3}{H^3-h^3} = \dfrac{d}{D}$; da cui

$$h^3 = \frac{H^3\,(d - D)}{d} = 1 - D,$$

ponendo $H = 1$ e $d = 1$. Dunque si ha

$$h = \sqrt[3]{1 - 0{,}729} = 0{,}647 \text{ di } H.$$

XII. — *Si ha un cilindro di platino di $0^m,02$ di altezza; vi si unisce un cilindro di ferro di egual diametro. Quale altezza bisognerà dare al cilindro di ferro perchè la sua base superiore si mantenga alla superficie del mercurio, quando i due cilindri sono immersi in questo liquido; e se il diametro dei cilindri fosse $0^m,03$, qual sarebbe il peso del mercurio spostato? — Si sa che la densità del platino è 21,59, quella del mercurio 13,596 e quella del ferro 7,788.*

1.° Siano D la densità del platino, D' quella del ferro e D'' quella del mercurio; siano ancora h l'altezza del cilindro di platino e x quella del cilindro di ferro.

Il peso del platino è . . . . $\pi r^2 h D$;
quello del ferro . . . . $\pi r^2 x D'$;
e quello del mercurio spostato . . . . . . $\pi r^2 (h+x) D''$.

Si ha dunque, sopprimendo il fattore comune πr^2,

$$hD + xD' = (h + x)\,D'', \text{ da cui } x = \frac{h\,(D - D'')}{D'' - D'} = \frac{2 \times 7{,}994}{5{,}808} = 2^{cent},75.$$

2.° Il diametro del cilindro essendo 3^{cent}, si troverà per il peso del mercurio spostato

$$\frac{3{,}1416 \times 9\,(2 + 2{,}75)\,13{,}596}{4} = 456^{gr},497.$$

XIII. — Un cilindro di legno di faggio galleggia orizzontalmente sull'acqua (fig. 673), si domanda il rapporto del volume immerso col volume emergente, sapendosi che il peso specifico del faggio è 0,852, e che quello dell'acqua è 1.

Fig. 673.

I due volumi di cui si cerca il rapporto avendo la stessa altezza h, siano S e S' i segmenti di cerchio che loro servono di base, il segmento S essendo quello immerso, e il segmento S' quello emergente.

Il volume immerso è Sh, il volume emergente $S'h$, e il volume totale del cilindro è $(S + S')h$. Il peso del cilindro è dunque $(S + S')h \times 0{,}852$, e quello dell'acqua spostata Sh; dunque, secondo la condizione di equilibrio dei corpi galleggianti, si deve avere $(S + S')\, h \times 0{,}852 = Sh$; da cui $\dfrac{S'}{S} = \dfrac{1 - 0{,}852}{0{,}852} = 0{,}173$.

XIV. — Qual è il peso di ferro che bisogna sospendere ad un decimetro cubico di sughero per far affiorare il cubo nell'acqua di mare la cui densità è 1,026. — Si sa che la densità del sughero è 0,24 e quella del ferro 7,7.

Sia x il peso cercato espresso in grammi. Il volume di sughero in centimetri cubici essendo 1000, il suo peso in grammi è $1000 \times 0{,}24$, secondo la formola $P = VD$ (106); dunque il peso dei due corpi galleggianti è $x + 1000 \times 0{,}24$.

Il volume di ferro essendo $\dfrac{x}{7{,}7}$, il peso dell'acqua di mare spostata è

$$\left(1000 + \frac{x}{7{,}7}\right) \times 1{,}026.$$

Dunque si ha $1000 \times 0{,}24 + x = \left(1000 + \dfrac{x}{7{,}7}\right) \times 1{,}026$, da cui $x = 906^{gr},8$.

XV. — Un cono di ferro ASB (fig. 674) è immerso nel mercurio per il suo vertice, si domanda il rapporto dell'altezza del cono immerso OS, coll'altezza totale CS, sapendo che la densità del ferro è d e quella del mercurio d'.

Fig. 674.

Siano h l'altezza totale SC, h' l'altezza SO, R e r i raggi CB e OK. Il volume del cono maggiore è $\dfrac{\pi R^2 h}{3}$, e il suo peso $\dfrac{\pi R^2 hd}{3}$, secondo la formola $P = VD$. Egualmente, il volume del cono immerso è $\dfrac{\pi r^2 h'}{3}$, e, di conseguenza, il peso di mercurio spostato dal cono di ferro è $\dfrac{\pi r^2 h' d'}{3}$. Ma questi pesi devono essere uguali (97); si ha dunque, sopprimendo il fattor comune $\dfrac{\pi}{3}$, $R^2 hd = r^2 h' d'$; da cui $\dfrac{h'}{h} = \dfrac{R^2}{r^2} \times \dfrac{d}{d'}$ [1]. Ma i triangoli BCS e KOS essendo simili, si ha $\dfrac{R}{r} = \dfrac{h}{h'}$. Mettendo questo valore di $\dfrac{R}{r}$ nell'equazione [1], si ha $\dfrac{h'}{h} = \dfrac{h^2}{h'^2} \times \dfrac{d}{d'}$; da cui $\dfrac{h'^3}{h^3} = \dfrac{d}{d'}$. Estraendo la radice cubica si ha

$$\frac{h'}{h} = \frac{\sqrt[3]{d}}{\sqrt[3]{d'}}.$$

Vale a dire che *le altezze dei due coni sono in ragione inversa delle radici cubiche delle densità del corpo immerso e del liquido, e ciò qualunque sia l'angolo al vertice del cono.*

XVI. — Un areometro di Baumé (pesa-acidi), ad asta ben cilindrica, si sommerge fino alla 66.ª divisione nell'acido solforico, la cui densità è 1.8. Ciò posto, si domanda:

Fig. [illegible]

1.° Qual è la densità dell'acqua salata che serve alla graduazione dello strumento; 2.° qual è il rapporto del volume di una divisione col volume dell'areometro fino a zero.

1.° Siano V il volume dell'areometro fino allo zero della scala, v il volume fino alla 66.ª divisione, e v' il volume fino alla 15.ª divisione; i volumi del liquido spostati nell'acqua e nell'acido solforico essendo in ragione inversa delle densità (97), si ha $\frac{V}{v} = \frac{1,8}{1}$, o $\frac{v+66}{v} = 1,8$, da cui $v = 82,5$, e $V = v + 66 = 148,5$. D'altra parte dall'equazione $V - v' = 15$, si cava $v' = 133,5$; dunque la densità d dell'acqua salata è data dall'equazione $\frac{V}{v'} = \frac{d}{1}$,

$$\text{da cui } d = \frac{148,5}{133,5} = 1,112.$$

2.° Il rapporto del volume di una divisione col volume dell'areometro fino allo zero è $\frac{1}{148,5}$.

PESI SPECIFICI

Nei problemi sui pesi specifici dei solidi e dei liquidi, le cui densità sono prese relativamente all'acqua, si ha costantemente bisogno di usare la formola $P = VD$ (106). Ora, nelle applicazioni di questa formola, non bisogna scordarsi quanto è già stato detto, cioè, che, V essendo misurato in decimetri cubici, P deve esserlo in chilogrammi; e se V è misurato in centimetri cubici, P deve esserlo in grammi. Reciprocamente, P rappresentando dei chilogrammi o dei grammi, bisogna che V rappresenti dei decimetri cubici o dei centimetri cubici. Finalmente, se V è misurato in metri cubici, ciascuna unità di P rappresenta 1000 chilogrammi; giacchè un metro cubico contiene 1000 decimetri cubici, e un metro cubo d'acqua pesa 1000 chilogrammi.

Si è già veduto che affinchè la formola $P = VD$ sia applicabile ai gas, bisognerebbe che le densità di questi fossero prese in confronto dell'acqua, mentre esse lo sono in generale riguardo all'aria; ma si può renderla applicabile ai gas. Infatti, 1 litro di aria pesando $1^{gr},293$ (129), V litri d'aria pesano $1^{gr},293 \times V$, da cui, per l'aria, $P = 1^{gr},293 \times V$; P essendo qui computato in grammi, quantunque V lo sia in decimetri cubici. Ciò posto, sia d la densità di un gas qualunque riguardo all'aria; poichè V litri d'aria pesano $1^{gr},293 \times V$, per un gas la cui densità è d volte quella dell'aria, V litri pesano d volte di più, vale a dire $1^{gr},293 \times V \times d$. Dunque per i gas, in generale, la formola $P = VD$ prende la forma $P = 1^{gr},293 \times V \times d$, P essendo, lo ripetiamo, computato in grammi, V in litri, e d rappresentando una densità di gas rapporto all'aria.

XVII. — Si ha un cilindro di ferro del peso di chilogrammi 21; la sua altezza è di $2^m,50$; la densità del ferro è 7,788; si domanda il diametro del cilindro.

Rappresentando con R il raggio del cilindro, il suo volume è $\pi R^2 H$, e il suo peso essendo P, si ha dalla formola $P = VD$,

$$\pi R^2 HD = P, \text{ da cui } R = \sqrt{\frac{P}{\pi HD}};$$

sostituendo, si ottiene $R = \sqrt{\frac{21}{611,0695}} = \sqrt{0,0343} = 0^d,18.$

XVIII. — Due vasi di forma conica e di egual peso misurano internamente $0^m,25$ di altezza, e $0^m,12$ di diametro alla loro apertura. Uno è riempito di acido solforico la cui densità è 1,84; l'altro è riempito di etere la cui densità è 0,71. Si domanda qual è la differenza tra i pesi dei due vasi quando essi sono ricolmi.

$$\text{Si ha } V = \frac{\pi R^2 H}{3} = \frac{3,1416 \times 36 \times 25^c}{3} = 942^{\text{cent. cub}},48.$$

Per l'acido solforico, si ha $P = 942,48 \times 1,84$;
per l'etere . . . . $P' = 942,48 \times 0,71$;
da cui la differenza $P - P' = (1,84 - 0,71)\ 942,48 = 1^{\text{chil}},065^{\text{gr}}$.

XIX. — È data una sfera di rame di $0^m,18$ di raggio, cava e contenente una sfera di platino di $0^m,05$ di raggio, in modo che non sussista alcuno spazio vuoto fra le due sfere, si domanda di calcolare il peso della massa così formata, sapendosi che la densità del platino è 21,50, e quella del rame 8,85.

Volume del platino $= \frac{4\pi r^3}{3}$, volume del rame $= \frac{4\pi (R^3 - r^3)}{3}$; peso del platino $= \frac{21,50 \times 4\pi r^3}{3}$, peso del rame $= \frac{8,85 \times 4\pi (R^3 - r^3)}{3}$. Somma dei pesi $= \frac{4\pi}{3} (21,5\ r^3 + 8,85\ R^3 - 8,85\ r^3) = 4,1888\ (12,65 \times 5^3 + 8,85 \times 18^3) = 222^{\text{chil}},820^{\text{gr}},91$.

XX. — Si fabbricano con dell'oro, la cui densità è 19 362, delle foglielte che hanno un decimillesimo di millimetro di spessore; quale superficie si potrebbe ricoprirne con 10 grammi d'oro?

Chiamando x la superficie cercata, espressa in centimetri quadrati, $x \times 0^{\text{cent}},00001$ rappresenta il volume delle fogliette d'oro, e $x \times 0^{\text{cent}},00001 \times 19,362$ il loro peso, secondo la formola $P = VD$; dunque si ha $x \times 0^{\text{cent}},00001 \times 19,362 = 10^{\text{gr}}$, da cui

$$x = 5^{\text{m.q}},\ 16^{\text{d.q}},\ 47^{\text{c.q}}.$$

XXI. — Un bicchiero di vino di Champagne, di forma conica, ha internamente $0^m,06$ di diametro alla sua apertura; è stato completamente riempito di mercurio, d'acqua e d'olio, in proporzioni tali, che lo strato formato da ciascuno di questi liquidi ha $0^m,05$ di spessore. Si sa che la densità del mercurio è 13,596, quella dell'olio 0,915, e quella dell'acqua 1. Calcolare il peso del mercurio, dell'acqua e dell'olio, trascurando l'influenza della temperatura sulla densità di questi liquidi.

Secondo l'enunciato, si ha $om = 3^c$ (fig. 676), e $ok = ki = ia = 5$. Di più, i triangoli oma, kna e ipa essendo simili, ne segue che $ip = \frac{1}{3}\ om = 1$, e $kn = \frac{2}{3}\ om = 2$.

Ciò posto, trovandosi il mercurio alla parte inferiore, poi l'acqua e infine l'olio (88), il volume del cono abp occupato dal mercurio eguaglia

$$\pi \overline{ip}^2 \times \frac{ai}{3} = \frac{3,1416 \times 1 \times 5}{3} = 5^{\text{cent. cub}},236.$$

Fig. 676.

I volumi dell'acqua e dell'olio sono dei tronchi di cono che si misurano colla formola comune $\pi\ (R^2 + r^2 + Rr) \times \frac{H}{3}$, nella quale R e r sono i raggi delle basi del tronco, e H la sua altezza. Per conseguenza, il volume d'acqua

$$bcnp = \frac{3.14159 \times 5}{3} (4 + 1 + 2) = 36^{\text{cent.cub}},652,$$

e il volume d'olio $cdmn = \frac{3.14159 \times 5}{3} (9 + 4 + 6) = 99^{\text{cent.cub}},484.$

Conosciuti questi volumi, si avranno i pesi cercati, secondo la formola $P = VD$, moltiplicando ciascun volume per la densità corrispondente. Si trova così che il peso del mercurio è $5,236 \times 13,596 = 71^{\text{gr}},188$; quello dell'acqua, $36,652 \times 1 = 36^{\text{gr}},652$; e quello dell'olio, $99,484 \times 0,915 = 91^{\text{gr}},027$.

XXII. — Un filo cilindrico di argento, di $0^{\text{m}},0015$ di diametro, pesa $3^{\text{gr}},2875$; si vuol ricoprirlo di uno strato d'oro di $0^{\text{m}},0004$ di spessore; si domanda il peso dell'oro che si dovrebbe impiegare, sapendo che il peso specifico dell'argento è 10,47 e quello dell'oro 19,26.

Siano r il raggio del cilindro d'argento, e R il raggio dello stesso cilindro ricoperto d'oro, si ha

$$r = 0^{\text{c}},075,\ R = 0^{\text{c}},095,\ r^2 = 0^{\text{cent.quad}},005625,\ R^2 = 0^{\text{cent.quad}},009025.$$

$$\text{Volume del cilindro d'argento} = \pi r^2 H = 0,0176715 \times H.$$

$$\text{Peso dello stesso} = 0,0176715 \times 10,47 \times H = 3^{\text{gr}},2875;\ \text{da cui}\ H = 17^{\text{c}},768.$$

Volume dello strato d'oro $= \pi H (R^2 - r^2) = 3,1416 \times 17,768 \times 0,0034 = 0^{\text{cent.cub}},189787$, da cui il peso dell'oro $= VD = 3^{\text{gr}},655$.

XXIII. — Si domanda il prezzo di un condotto di ferraccio, avente $0^{\text{m}},245$ di diametro interno, $0^{\text{m}},014$ di spessore, e 2134^{m} di lunghezza; la densità del ferraccio è 7,207, e il suo prezzo $0^{\text{fr}},20$ al chilogrammo.

$V = \pi H (R^2 - r^2) = 3,1416 \times 2134^{\text{m}} \times 0^{\text{m.q}},003626 = 24^{\text{m.cub}},309^{\text{dec.cub}},330^{\text{cent.cub}}$;
$P = 24^{\text{m.cub}},309330 \times 7,207 \times 1000 = 175197^{\text{chil}},385^{\text{gr}}$; prezzo $= 35039^{\text{fr}},48$.

XXIV. — Un proiettile di ferraccio pesa 12 chilogrammi; la densità del ferraccio è 7,35; si cerca il raggio di questo proiettile e il peso dell'oro necessario per formare intorno ad esso uno strato di $0^{\text{m}},0006$ di spessore, la densità dell'oro essendo 19,26.

Secondo la formola $P = VD$, si ha $V = \frac{P}{D} = \frac{12}{7,35} = 1^{\text{dec.cub}},63265$. Ora il proiettile avendo la forma sferica, il suo volume è rappresentato dalla formola $\frac{4\pi R^3}{3}$; si ha dunque $\frac{4\pi R^3}{3} = 1^{\text{dec.cub}},63265$, da cui $R = \sqrt[3]{\frac{4.89795}{12.56636}} = 0^{\text{d}},730$.

Per calcolare il volume dello strato d'oro, sia R' il raggio esterno, il quale è uguale a $0^{\text{d}},730 + 0^{\text{d}},006 = 0^{\text{d}},736$; il volume V di questo strato essendo eguale alla differenza tra il volume totale e quello del proiettile, si ha

$V = \frac{4\pi}{3} (R'^3 - R^3) = \frac{4 \times 3,1416 \times 0,009669}{3} = 0^{\text{dec.cub}},0405015$; da cui il peso dell'oro è $40^{\text{cent.cub}},5015 \times 19,26 = 780^{\text{gr}},059$.

XXV. — Determinare i volumi di due liquidi la cui densità è, per l'uno 1,3, e per l'altro 0,7, sapendo che, se si mescolano, il volume è uguale a 3 litri e la densità a 0,9.

Siano v e v' i due volumi cercati, si ha dapprima $v + v' = 3^{\text{lit}}$ [1]; e secondo la formola $P = VD$, il peso di ciascun liquido essendo $v \times 1,3$, e $v' \times 0,7$, si ha $1,3\, v + 0,7\, v' = 0,9 \times 3$ [2]. Risolvendo le equazioni [1] e [2], si trova $v = 1$, e $v' = 2$.

XXVI. — Una lamina triangolare di rame, di $0^m,005$ di spessore e di $1^m,25$ di lato, è stata ricoperta di uno strato di argento di $0^m,00015$ di spessore. La densità del rame è 8,95, quella dell'argento 10,47; si domanda il peso della lamina così inargentata.

Chiamando S la superficie del triangolo, a il suo lato, e V il volume della lamina, si ha

$$S = \frac{a^2}{4}\sqrt{3} = \frac{(1^m,25)^2}{4} \times 1,7321 = 676^{dec.qu},60^{cent.qu},156;$$

$$V = 676^{dec.qu},60156 \times 0,05 = 33^{dec.cub},830^{cent.cub},078.$$

$$\text{Peso del rame} = 33,830078 \times 8,95 = 302^{chil},779^{gr},198;$$

$$\text{Volume dell'argento} = 2 \times 676^{dec.qu}60156 \times 0,0015 = 2^{dec.cub},02980468;$$

$$\text{Peso dell'argento} = 2,02980468 \times 10,47 = 21^{chil}252^{gr},045;$$

$$\text{Peso totale} = 302^{chil},779^{gr},198 + 21^{chil},252^{gr},045 = 324^{chil},031^{gr},243.$$

XXVII. — I nuovi pezzi francesi da 10 centesimi pesano 10^{gr}, e sono composti di una lega di 0,95 di rame, 0,04 di stagno, e 0,01 di zinco; la densità del rame è 8,85, quella dello stagno 7,29, e quella dello zinco 7,12; quanti pezzi occorrerebbero per fornire il metallo necessario alla fabbricazione di una sfera della stessa lega di $0^m,25$ di diametro a zero.

Il volume v di un pezzo di 10 centesimi è, secondo l'enunciato e secondo la formola

$$V = \frac{P}{D},\ v = \frac{9,5}{8,85} + \frac{0,4}{7,29} + \frac{0,1}{7,12} = \frac{17491735}{15311916}.$$

Ora, il volume della sfera essendo $\frac{4\pi R^3}{3}$, il numero dei pezzi è

$$\frac{4\pi R^3}{3} : v = \frac{4 \times 3,1416 \times \overline{12^c,5}^3}{3} \times \frac{15311916}{17491735} = 7161,7.$$

XXVIII. — Un bicchiere a forma conica ha la capacità di un litro; esso ha $0^m,25$ di diametro alla sua apertura, ed è riempito con acqua e mercurio; il peso di questi due liquidi è lo stesso e la densità del mercurio è 13,598. Si domanda lo spessore dello strato formato dall'acqua.

Siano V il volume totale del cono, H la sua altezza, R il raggio della sua base, v il volume dell'acqua, v' il volume del mercurio, e d la densità di quest'ultimo liquido; si ha $V = \frac{1}{3}\pi R^2 H$ [1], $v + v' = 1$ [2], e $v = v'd$ [3].

Dall'equazione [1] si cava, ponendo $V = 1$ e $R = 0^m,125$, $H = 0^m,06111$; e le equazioni [2] e [3] danno $v' = 0^{lit},068502$, e $v = 0^{lit},931498$.

Ora, i volumi V e v' essendo simili, sono tra loro come i cubi delle loro altezze, vale a dire che $\frac{V}{v'} = \frac{H^3}{h'^3}$; da cui

$$h' = H\sqrt[3]{v'} = 6^c,111\sqrt[3]{0,068502} = 2^c,4994,\ \text{e}\ h = H - h' = 3^c,6116.$$

XXIX. — Un triangolo equilatero di acciaio, di $0^m,15$ di lato, gira su uno de'suoi lati e si introduce così completamente in un masso di marmo la cui densità è 2,72. L'asse di rotazione è normale alla superficie del masso, e il triangolo penetra in questo per il suo vertice. Si domanda la perdita di peso che subisce il masso in questa operazione.

Il triangolo essendo entrato nel masso come mostra la figura 677, il volume tolto è

$$V = \pi\,\overline{oi}^2 \times \frac{ab}{2} + \pi\,\overline{oi}^2 \times \frac{ab}{6} = \frac{4}{6}\pi\,\overline{oi}^2 \times ab.$$

Ma $\overline{oi}^2 = \overline{ab}^2 - \frac{\overline{ab}^2}{4} = \frac{3}{4}\overline{ab}^2$; dunque $V = \frac{\pi \overline{ab}^3}{2} = \frac{3,1416 \times (15)^3}{2} = 5301^{c.cub},450$.

Dunque la perdita di peso è $5301^{c.cub},450 \times 2,72 = 14^{chil},419^{gr},944$.

Fig. 677.

XXX. — Si ha un vaso cilindrico il cui diametro interno è $0^m,25$. Vi si versano 30^{chil} di mercurio la cui densità è 13,6, e 2^{chil} di alcool la cui densità è 0,79. Si domanda a quale altezza questi due liquidi si innalzeranno nel vaso.

Siano R il raggio interno del vaso cilindrico, x l'altezza dell'acqua e y quella del mercurio.

Secondo la formola $P = VD$, si ha, per il volume dell'alcool, $\frac{P}{D} = \frac{2}{0,79}$, e per quello del mercurio, $\frac{P}{D} = \frac{30}{13,6}$; ma questi due volumi sono ancora rispettivamente rappresentati da $\pi R^2 y$, e $\pi R^2 y$; si ha dunque $\pi R^2 x = \frac{2}{0,79}$, e $\pi R^2 y = \frac{30}{13,6}$; da cui

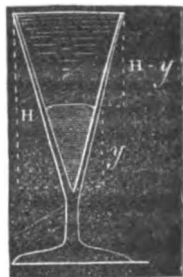
$$x + y = \frac{2}{\pi R^2}\left(\frac{1}{0,79} + \frac{15}{13,6}\right) = 0^m,0965.$$

XXXI. — Un vaso di forma conica misura $0^m,08$ di diametro alla sua apertura ed ha $0^m,12$ di altezza. Esso è posto in modo che la sua apertura sia orizzontale, ed è riempito di mercurio e di acqua in proporzioni tali, che il peso del mercurio è il triplo del peso dell'acqua. La temperatura è zero, la densità del mercurio 13,598, e quella dell'acqua 1. Si domanda lo spessore di ciascun strato liquido (fig. 678).

Fig. 678.

Volume totale $= \frac{1}{3}\pi R^2 H$; volume del mercurio $= \frac{1}{3}\pi r^2 y$; e volume dell'acqua $= \frac{1}{3}\pi (R^2 H - r^2 y)$. Dunque il peso del mercurio è $\frac{1}{3}\pi r^2 y d$, e quello dell'acqua $\frac{1}{3}\pi (R^2 H - r^2 y)$; ciò che dà, secondo l'enunciato, $\frac{1}{3} r^2 y d = R^2 H - r^2 y$, da cui

$$y = \frac{3R^2 H}{r^2(d + 3)} = \frac{R^2}{r^2} \times \frac{3H}{d+3}.$$

Ora, $\frac{R^2}{r^2} = \frac{H^2}{y^2} = \frac{144}{y^2}$; dunque $y = \frac{144}{y^2} \times \frac{36}{16,598}$, da cui $y = \sqrt[3]{\frac{144 \times 36}{16,598}} = 0^m,0678$, e $H - y = 0^m,0522$.

XXXII. — Il peso specifico dello zinco essendo 7, e quello del rame 9, quali quantità di zinco e di rame, si devono prendere per formarne una lega che pesi grammi 50, e il cui peso specifico sia 8,2, ammettendo che il volume della lega sia esattamente la somma dei volumi dei metalli allegati?

Siano x e y i pesi dello zinco e del rame cercati.

Si ha dapprima $x + y = 50$ [1]; o, secondo la formola $P = VD$, che dà $V = \frac{P}{D}$, i volumi dei due metalli e della loro lega sono rispettivamente $\frac{x}{7}$, $\frac{y}{9}$ e $\frac{50}{8,2}$; si ha dunque $\frac{x}{7} + \frac{y}{9} = \frac{50}{8,2}$ [2].

Risolvendo le equazioni [1] e [2], si trova $x = 17,07$, e $y = 32,93$.

XXXIII. — Qual è lo sforzo F necessario per sostenere una campana piena di mercurio e immersa nello stesso liquido, essendo il suo diametro interno di 6 centimetri, e la sua altezza *ob* (fig. 679), al disopra del livello del bagno, di 18 centimetri, sapendo che l'altezza del barometro è $0^{m},77$?

All'esterno, questa campana sopporta, dall'alto al basso, una pressione uguale al peso di una colonna di mercurio che avrebbe per base la sua sezione *cd* e per altezza quella del barometro; di conseguenza, questa pressione uguaglia $\pi R^2 \times 0,77 \times 13,596$.

All'interno, essa sopporta, dal basso in alto, una pressione uguale alla pressione atmosferica, meno il peso di una colonna di mercurio che avrebbe per base la sua sezione e per altezza *ob*; vale a dire che la pressione dal basso in alto è eguale a

$$\pi R^2 \times (0,77 - 0,18) \times 13,596 = \pi R^2 \times 0,59 \times 13,596.$$

Fig. 679

Lo sforzo necessario per sostenere la campana sarà dunque uguale alla differenza di queste due pressioni, ossia a

$$\pi R^2 (0,77 - 0,59) \times 13,596 = \pi R^2 \times 0,18 \times 13,596.$$

Facendo $R = 3$ centim., conformemente all'enunciato, ed effettuando i calcoli, si trova $F = 6^{chil},919^{gr},5$.

LEGGE DI MARIOTTE E MISCUGLI DI GAS (152 e 162)

Pei problemi sulla legge di Mariotte, vedi quelli che sono stati dati al paragrafo 153.

XXXIV. — In un recipiente di 3 litri di capacità si fanno entrare: 1.° 2 litri di idrogeno sotto la pressione di 5 atmosfere; 2.° 4 litri di acido carbonico sotto la pressione di 4 atmosfere; 3.° 3 litri di azoto sotto la pressione di $\frac{1}{2}$ atmosfera. Si domanda la pressione totale del miscuglio, supposta costante la temperatura durante la esperienza.

L'idrogeno passando dal volume 2 al volume 3, diminuisce la propria pressione ch' diventa, secondo la legge di Mariotte, $\frac{5 \times 2}{3}$; egualmente quella dell'acido carbonico diventa $\frac{4 \times 4}{3}$, e quella dell'azoto $\frac{3}{2 \times 3}$. Ma, secondo la legge delle mescolanze dei gas (162), la forza elastica del miscuglio deve uguagliare la somma delle forze elastiche dei gas mescolati; dunque la pressione cercata $= \frac{5 \times 2}{3} + \frac{4 \times 4}{3} + \frac{3}{2 \times 3} = 9^{atm} + \frac{1}{6}$.

Sulle mescolanze dei gas e dei liquidi, vedi il problema dato al paragrafo 163.

PERDITA DI PESO NELL'ARIA E NEI GAS; AEROSTATI (167, 168 e 172)

XXXV. — Per fare equilibrio al peso di una verga di platino posta in un bacino di una bilancia, si è posto nell'altro piatto un peso di 27 grammi di ottone. Quanti se ne sarebbero dovuti usare se la pesata fosse stata fatta nel vuoto? — Si sa che la densità del platino è 21,5, quella dell'ottone 8,3; e che l'aria a 0 gradi e sotto la pressione di $0^m,76$, condizioni nelle quali si suppone fatta la operazione, pesa 770 volte meno dell'acqua.

Il peso dell'ottone, nell'aria, non è 27 grammi, giacchè questo peso è stato preso nel vuoto. Il vero peso è 27 grammi meno il peso dell'aria spostata. Ora, secondo la formola $P = VD$, il volume dell'ottone è $\frac{P}{D} = \frac{27^{gr}}{8,3}$; e il peso dell'aria spostata $\frac{27^{gr}}{8,3 \times 770}$.

Dunque il peso reale dell'ottone nell'aria è $27^{gr} - \frac{27}{8,3 \times 770}$.

Egualmente se si rappresenta con x il peso del platino nel vuoto, il suo peso nell'aria lo sarà da x meno il peso dell'aria spostata, vale a dire da $x - \frac{x}{21,5 \times 770}$.

Questo peso dovendo eguagliare quello dell'ottone, si ha

$$x - \frac{x}{21,5 \times 770} = 27 - \frac{27}{8,3 \times 770}; \text{ da cui } x = 26^{gr},997.$$

XXXVI. — La densità dell'aria essendo 1, quella dell'idrogeno 0,069, e quella dell'acido carbonico 1,524, a 0 gradi e sotto la pressione di $0^m,76$, un corpo nell'acido carbonico perde $1^{gr},15$ del suo peso; si domanda quale sarebbe la sua perdita di peso nell'aria e nell'idrogeno.

Si domanda ancora: 1.° se il rapporto delle perdite di peso rimane lo stesso alla temperatura di 200°, la pressione rimanendo la stessa; 2.° se questo rapporto rimane lo stesso alla pressione di 30 atmosfere, la temperatura essendo 0 gradi.

Un litro d'aria a 0° e sotto la pressione di $0^m,76$, pesando $1^{gr},3$, un litro di acido carbonico, la cui densità è 1,524, pesa $1^{gr},3 \times 1,524 = 1^{gr},9812$. Si avrà dunque il volume di acido carbonico corrispondente a $1^{gr},15$, dividendo $1^{gr},15$ per $1^{gr},9812$, ciò che dà per quoto $0^{lit},5804$. Ora, questo volume essendo quello del corpo, quest'ultimo sposta $0^{lit},5804$ d'aria, e, per conseguenza, la sua perdita di peso nell'aria (167) è $1^{gr},3 \times 0,5804 = 0^{gr},75452$. Quanto alla sua perdita di peso nell'idrogeno, essa è $0^{gr},75452 \times 0,069 = 0^{gr},052061$.

Il rapporto delle perdite di peso nell'acido carbonico e nell'idrogeno non resta rigorosamente lo stesso quando la temperatura o la pressione muta, giacchè questi due gas non sono egualmente dilatabili nè egualmente compressibili (293 e 153).

XXXVII. — Un corpo perde del suo peso nell'aria grammi 7; quanto perderebbe nell'acido carbonico e nell'idrogeno, sapendo che la densità dell'acido carbonico è 1,524, e quella dell'idrogeno 0,069?

Il corpo perdendo grammi 7 del suo peso nell'aria, perde, in un gas due, tre volte più denso, due, tre volte tanto; dunque, nell'acido carbonico, perde $7^{gr} \times 1,524 = 10^{gr},668$, e nell'idrogeno $7^{gr} \times 0,069 = 0^{gr},483$.

XXXVIII. — Due palloni sferici di vetro sono in equilibrio sui due bacini di una bilancia; l'aria è secca, alla temperatura di zero e sotto la pressione di $0^m,76$; il diametro di uno dei palloni è $0^m,34$, e quello dell'altro 0,18; la temperatura si innalza a 30 gradi, e la pressione diventa $0^m,74$. Si domanda se l'equilibrio sussisterà. Nel caso

che sia turbato, qual peso abbisognerebbe per ristabilirlo, e in qual piatto bisognerebbe porlo? I palloni sono chiusi, in modo che non può accadere alcuna variazione nel peso del gas che essi racchiudono. — Il peso di un litro d'aria a zero e sotto la pressione di $0^m,76$ è $1^{gr},293$; il coefficiente di dilatazione dell'aria è 0,00367, e il coefficiente di dilatazione cubica del vetro $\frac{1}{38700}$.

Rappresentando con D e d i diametri rispettivi dei due palloni in decimetri, ponendo $\alpha = 0,00367$, $\delta = \frac{1}{38700}$, $t = 30$, e x rappresentando il peso cercato, il volume del primo pallone, a 0°, è $\frac{\pi D^3}{6}$, secondo la formola conosciuta del volume della sfera; e il peso dell'aria spostata, a 0° e sotto alla pressione 76, è $\frac{1^{gr},293 \times \pi D^3}{6}$.

Ora, il volume dello stesso pallone, a t gradi, è $\frac{\pi D^3 (1 + \delta t)}{6}$, e il peso dell'aria spostata, a t gradi e sotto la pressione 74, è $\frac{1^{gr},293 \times \pi D^3 (1 + \delta t)\, 74}{6\,(1 + \alpha t)\, 76}$.

74 essendo minore di 76, e $\delta < \alpha$, questa seconda perdita di peso è minore della prima, e il pallone pesa in più la differenza di questi due pesi, o

$$\frac{1^{gr},293 \times \pi D^3}{6}\left[1 - \frac{(1 + \delta t)\, 74}{(1 + \alpha t)\, 76}\right] \quad [1].$$

Egualmente, il secondo pallone, a t gradi e sotto la pressione 74, pesa in più

$$\frac{1^{gr},293 \times \pi d^3}{6}\left[1 - \frac{(1 + \delta t)\, 74}{(1 + \alpha t)\, 76}\right] \quad [2].$$

Ora, a cagione di $d <$ D, il secondo pallone è il più leggero, e bisogna aggiungergli un peso x eguale alla differenza dei due aumenti [1] e [2]. Dunque

$$x = \frac{\pi \times 1^{gr},293}{6}\left[1 - \frac{(1 + \delta t)\, 74}{(1 + \alpha t)\, 76}\right](D^3 - d^3).$$

Sostituendo e effettuando i calcoli, si trova $x = 2^{gr},770$.

XXXIX. — Calcolare la forza ascensiva di un pallone sferico di taffetà, che, essendo vuoto, pesa $63^{chil},620$, e che è riempito d'idrogeno impuro, sapendosi che il taffetà inverniciato pesa $0^{chil},250^{gr}$ al metro quadrato, il metro cubico d'aria $1^{chil},306^{gr}$, e il metro cubico di idrogeno $0^{chil},100^{gr}$.

La superficie del pallone è $= \frac{63^{chil},620}{0^{chil},250} = 254^{m.q},48$. Ora, la superficie del pallone, essendo quella di una sfera, è uguale a $4\pi R^2$; si ha dunque $4\pi R^2 = 254^{m.q},48$; da cui

$$R = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{254,48}{3,1416}} = \frac{1}{2}\sqrt{81,0033} = 4^m,50.$$

Per conseguenza, chiamando V il volume della sfera, si ha

$$V = \frac{4\pi R^3}{3} = \frac{4 \times 3,1416 \times (4,5)^3}{3} = 381^{m.c},7044.$$

Il peso dell'aria spostata è dunque $1^{chil},3 \times 381,7044 = 496^{chil},216^{gr}$.

Il peso dell'idrogeno è $0^{chil},1 \times 381,7044 = 38^{chil},1704$; dunque la forza ascensiva è $496^{chil},216 - 38^{chil},170 - 63^{chil},620 = 392^{chil},426^{gr}$.

XL. — È dato un pallone il cui raggio è di 1 metro; questo pallone è riempito per 3/4 di gas idrogeno; si domanda il peso che potrebbe sollevare, sapendosi che la densità dell'idrogeno è 0,069 e che un litro di aria pesa $1^{gr},3$. L'aria e l'idrogeno sono sotto la pressione di $0^{m},76$ e alla temperatura di 0 gradi.

Volume del pallone $= \frac{4\pi R^3}{3}$, di cui i $\frac{3}{4} = \frac{4\pi R^3}{3} \times \frac{3}{4} = \pi R^3 = 3^{m.cub},1416$. Un metro cubico di aria pesando $1^{chil},300^{gr}$, il peso dell'aria spostata dal pallone è $1^{chil},300 \times 3,1416 = 3^{chil},084^{gr}$. Quanto al peso dell'idrogeno che riempie il pallone, esso è $4^{chil},084 \times 0,069 = 0^{chil},281$. Dunque il peso che il pallone può sollevare, compreso il suo proprio, è $4^{chil},084 - 0^{chil},281 = 3^{chil},803^{gr}$.

XLI. — È dato un aerostato sferico di 4 metri di diametro; lo si riempie di idrogeno impuro, che pesa 100 grammi al metro cubico; il taffetà inverniciato di cui è formato l'inviluppo pesa 250 grammi al metro quadrato. Si domanda quanto idrogeno occorre per riempirlo, e a qual peso esso possa fare equilibrio, sapendo che l'aria pesa 1300 grammi al metro cubico.

Si sa, in geometria, che il volume di una sfera, il cui raggio è R, è rappresentato da $\frac{4\pi R^3}{3}$, e la superficie da $4\pi R^2$. Per conseguenza V essendo il volume del pallone pieno, e S la sua superficie, si ha

$$V = \frac{4\pi R^3}{3} = \frac{4 \times 3,1416 \times 8}{3} = 33^{m.cub},510,$$

$$\text{e } S = 4\pi R^2 = 4 \times 3,1416 \times 4 = 50^{m.q},2655.$$

Per conseguenza, il peso dell'idrogeno contenuto nel pallone è, secondo l'enunciato, 100 grammi $\times$ 33,510 $= 3^{chil},351$; e quello dell'inviluppo eguale a 250 grammi $\times$ 50,2635 $= 12^{chil},566$. Il peso totale del pallone, compreso quello dell'idrogeno e dell'inviluppo, è dunque $3^{chil},351 + 12^{chil},566 = 15^{chil},917$.

Ma il peso dell'aria spostata dal pallone e, per conseguenza, la spinta dal basso in alto (167) è, secondo l'enunciato, $1^{chil},300 \times 33,510 = 43^{chil},563$. Dunque, finalmente, il peso al quale il pallone può fare equilibrio è $43^{chil},563 - 15^{chil},917 = 27^{chil},646$.

Fig. 680.

MACCHINE PNEUMATICA E DI COMPRESSIONE (156, 177, 179)

XLII. — Il volume di aria, nel manometro di una macchina di compressione, è uguale a 152 parti. Per effetto della macchina, questo volume è ridotto a 37 parti, e il mercurio si è sollevato, nel tubo manometrico, a $0^{m},48$. Si domanda in qual rapporto si è accresciuta la quantità d'aria nel recipiente della macchina.

Nella figura 680, si ha AB = 152 parti, AC = 37 parti, e BC = $0^{m},48$. Ciò posto, la pressione dell'aria in AC è dunque, secondo la legge di Mariotte, $\frac{152}{37} = 4^{atm},108$

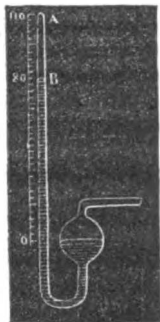
$= 3^m,122$, poichè una atmosfera è rappresentata da $0^m,76$. La pressione nel recipiente M, in cui si comprime l'aria, è dunque $3^m,122 + 0^m,48 = 3^m,602$. Ora, la massa dell'aria essendo aumentata come la pressione, essa è attualmente, nel recipiente, $\frac{3^m,602}{0,76} = 4,7$.

Vale a dire che essa è divenuta 4 volte e $\frac{17}{10}$ maggiore.

XLIII. — Un manometro ad aria compressa, è diviso in 110 parti di eguale capacità: quando la pressione esterna è di $0^m,76$, il mercurio, nell'interno del tubo e nella vaschetta, corrisponde colla sua superficie allo zero della scala. Si porta il manometro sotto il recipiente di una macchina a compressione, e si osserva che il mercurio si innalza fino alla 80ª divisione; misurando allora l'altezza del mercurio nel tubo, la si trova di $0^m,45$; si domanda la pressione nella macchina.

Fig. 681.

Sia P la pressione dell'aria in AB (fig. 681); la porzione della scala corrispondente ad AB essendo 30, si ha $\frac{P}{76} = \frac{110}{30}$, da cui P $= 2^m,787$. Aggiungendovi l'altezza $0^m,450$ del mercurio nel tubo, la pressione totale è $3^m,237$.

Per ridurla in atmosfere, non si ha che dividere $3^m,237$ per $0^m,76$, ciò che dà $4^{atm} + \frac{1}{4}$.

XLIV. — La campana di una macchina pneumatica racchiude $3^{lit},17$ d'aria; un barometro, comunicante colla parte superiore della campana, segna zero quando questa è in comunicazione coll'atmosfera. Si chiude la campana e si mette in azione la macchina; il mercurio s'innalza allora nel barometro di $0^m,65$. Un secondo barometro, posto vicino alla macchina, segna $0^m,76$ durante tutta l'esperienza. Si cerca il peso dell'aria che è stata estratta dalla campana e il peso di quella che vi è rimasta, la temperatura essendo zero (fig. 682).

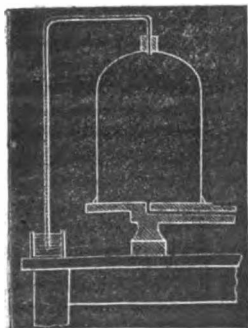



Fig. 682

A 0° e sotto la pressione $0^m,76$, il peso dell'aria contenuto nella campana è

$$1^{gr},3 \times 3,17 = 4^{gr},121.$$

A 0° e sotto la pressione $76 - 65 = 11$, il peso dell'aria che rimane ancora nella campana è

$$\frac{1^{gr},3 \times 3.17 \times 11}{76} = 0^{gr},596.$$

Dunque, il peso dell'aria estratta dalla campana è $4^{gr},121 - 0^{gr},596 = 3^{gr},525$.

XLV. — Si mette in azione lo stantuffo di una macchina pneumatica; la capacità del recipiente è di $7^{lit},53$, ed è riempito d'aria alla pressione di $0^m,76$ e alla temperatura di 0°. Si domanda: 1.° il peso dell'aria quando la pressione è ridotta a $0^m\,021$; 2.° il peso dell'aria estratta dallo stantuffo; 3.° il peso dell'aria che resterebbe nella campana alla temperatura di 15.°

1.° A 0° e sotto la pressione di $0^m,76$, $7^{lit},53$ d'aria pesano $1^{gr},293 \times 7,53 = 9^{gr},736$.

A 0° e sotto la pressione di $0^m,021$, lo stesso volume pesa dunque $\frac{9^{gr},736 \times 21}{760} = 0^{gr},269$.

2.° Il peso dell'aria estratta è uguale a $9^{gr},736 - 0^{gr},269 = 9^{gr},467$.

3.° Il peso dell'aria rimanente, a 15°, sarebbe $\frac{0^{gr},269}{1 + 0{,}00367 \times 15} = 0^{gr},255$ (292, prob. VI).

XLVI. — Sapendo che la capacità del corpo di tromba di una macchina pneumatica è $\frac{1}{3}$ della capacità del recipiente, calcolare dopo quanti colpi semplici di stantuffo la pressione interna sarà la ducentesima parte di quella che era primitivamente.

Rappresentiamo con 1 la pressione atmosferica e con 1 il volume del recipiente.

Dopo l'innalzamento dello stantuffo, questo volume sarà $1 + \frac{1}{3}$, e per conseguenza la pressione dell'aria sotto il recipiente sarà $\frac{1}{1+\frac{1}{3}}$, poichè essa è in ragione inversa del volume. Egualmente, al secondo colpo di stantuffo, essa sarà $\frac{1}{1+\frac{1}{3}}$ di quanto era dopo il primo; vale a dire $\frac{1}{1+\frac{1}{3}}$ di $\frac{1}{1+\frac{1}{3}}$, o $\frac{1}{\left(1+\frac{1}{3}\right)^2}$.

Si troverà così che dopo n colpi di stantuffo, la pressione è $\frac{1}{\left(1+\frac{1}{3}\right)^n}$ [1].

Si ha dunque $\frac{1}{\left(1+\frac{1}{3}\right)^n} = \frac{1}{200}$, da cui $\left(1+\frac{1}{3}\right)^n = 200$; o $\left(\frac{4}{3}\right)^n = 200$.

Usando i logaritmi, si ha $n = \frac{\log 200}{\log 4 - \log 3} = 18{,}4$.

La formola [1] qui sopra data potrebbe ancora dedursi dalla formola $F = H\left(\frac{V}{V+v}\right)^n$ data al paragrafo 177, facendovi $H = 1$, $V = 1$ e $v = \frac{1}{3}$.

Per altri problemi sulla macchina pneumatica, vedi il paragrafo 177.

ACUSTICA (202, 226, 229, 238 e 242)

XLVII. — Il romore di un colpo di cannone ha impiegato 15 secondi per trasmettersi da un luogo ad un altro, la temperatura essendo di 22 gradi; si domanda la distanza fra questi due luoghi, sapendo che la velocità del suono a zero è di 333 metri.

Si è veduto (202) che la velocità del suono nell'aria, a t gradi, è data dalla formola $v' = v\sqrt{1 + \alpha t}$, α essendo il coefficiente di dilatazione dell'aria, eguale a 0,00367, e v essendo la velocità del suono a zero.

Dunque la velocità, a 22 gradi, è uguale a

$$333\sqrt{1+0{,}00367\times 22}=346^{m}.$$

Ora, codesta velocità essendo il cammino percorso dal suono in un secondo, il cammino percorso in 15 secondi è $346^{m}\times 15=5190^{m}$; è la distanza cercata.

XLVIII. — La densità del ferro essendo 7,8, quella del rame 8,9, si domanda quale deve essere il rapporto del diametro di due fili cilindrici, l'uno di ferro, l'altro di rame, di eguali lunghezze ed egualmente tesi, perchè essi rendano la stessa nota, quando si facciano vibrare trasversalmente.

Secondo la formola sulle vibrazioni trasversali delle corde $n=\frac{1}{rl}\sqrt{\frac{P}{\pi d}}$ (220), i pesi, le lunghezze e i numeri di vibrazioni essendo gli stessi pei due fili, si ha

$$\frac{1}{rl}\sqrt{\frac{P}{\pi d}}=\frac{1}{r'l}\sqrt{\frac{P}{\pi d'}},\ \text{o, semplificando,}\ \frac{1}{r}\sqrt{\frac{1}{d}}=\frac{1}{r'}\sqrt{\frac{1}{d'}};$$

innalzando al quadrato i due membri dell'ultima equazione, si ha $\frac{1}{r^2d}=\frac{1}{r'^2d'}$, o $r^2d=r'^2d'$, da cui $\frac{r^2}{r'^2}=\frac{d'}{d}=\frac{8{,}9}{7{,}8}$; dunque $\frac{r}{r'}=\sqrt{\frac{8{,}9}{7{,}8}}=1{,}068.$

XLIX. — Avendo lasciata cadere una pietra in un pozzo, il suono che produce la pietra nel colpire l'acqua non si fa intendere che 3 secondi dopo che la si è lasciata cadere. Si domanda a quale profondità è l'acqua, sapendo che il suono percorre 337 metri per secondo.

Rappresentiamo con v la velocità del suono, con x la profondità del pozzo fino all'acqua, e con T il tempo che passa tra il principio della caduta e la percezione del suono. Dalla formola $e=\frac{1}{2}gt^2$ (55), si cava $t=\sqrt{\frac{2e}{g}}=\sqrt{\frac{2x}{g}}$; è il tempo che la pietra impiega a cadere.

Per trovare il tempo che abbisogna al suono per giungere all'orecchio dell'osservatore, osserviamo che lo spazio che esso percorre per secondo essendo v, gli occorrerà, per percorrere lo spazio x, tanti secondi quante sono le volte che vi è contenuto in x, vale a dire $\frac{x}{v}$.

Si dovrà dunque avere

$$\sqrt{\frac{2x}{g}}+\frac{x}{v}=\mathrm{T},\ \text{o}\ \sqrt{\frac{2x}{g}}=\mathrm{T}-\frac{x}{v};$$

$$\text{da cui}\ \frac{2x}{g}=\mathrm{T}^2-\frac{2\mathrm{T}x}{v}+\frac{x^2}{v^2}.$$

Eliminando i denominatori e trasportando, si ha

$$gx^2-2v\,(v+g\mathrm{T})\,x+v^2g\mathrm{T}^2=0.$$

$$\text{Risolvendo,}\ x=\frac{v}{g}\left\{g\mathrm{T}+v\pm\sqrt{v\,(2g\mathrm{T}+v)}\right\}.$$

Rimpiazzando v, g e T coi loro valori, si trova

$$x=\frac{337}{9{,}81}\left\{9{,}81\times 3+337\pm\sqrt{337\,(2\times 9{,}81\times 3+337)}\right\}$$

$$\text{da cui } x = \frac{337}{9{,}81}(366{,}43 \pm 365{,}24);$$

ciò che dà le due soluzioni $x = 25134^m,9$, e $x = 40^m,8$. La prima bisogna rigettarla, poichè essa rappresenta uno spazio maggiore di quello che percorre il suono in 3 secondi. È una *soluzione estranea* dovuta all'innalzamento al quadrato del radicale $\sqrt{\frac{2x}{g}}$ nell'equazione del problema. La profondità del pozzo è dunque $40^m,8$.

Per altri problemi sulle vibrazioni delle corde, vedi il paragrafo 229, e pei problemi sui tubi sonori, il paragrafo 242.

SCALE TERMOMETRICHE (260)

L. — Un termometro centigrado segna 35 gradi, quanti gradi dovranno segnare nello stesso momento un termometro Réaumur e un termometro Fahrenheit?

Secondo i rapporti che esistono fra le tre scale (260),

il termometro Réaumur dovrà segnare . . . . $35 \times \frac{4}{5} = 28°$;

e il termometro Fahrenheit . . . . $35 \times \frac{9}{5} + 32 = 92$.

LI. — A quale temperatura il termometro centigrado e il termometro Fahrenheit segnano lo stesso numero di gradi?

x essendo questo numero di gradi, si ha $(x - 32) \times \frac{5}{9} = x$, da cui $x = -40°$.

LII. — Si hanno due termometri a mercurio costrutti collo stesso vetro: l'uno ha un serbatoio sferico il cui diametro interno è $0^m,0075$, e un tubo il cui diametro interno è $0^m,0025$; l'altro ha esso pure un serbatoio sferico di $0^m,0062$ di diametro, e un tubo di $0^m,0015$ di diametro interno. Si domanda qual è il rapporto di lunghezza di un grado del primo termometro con un grado del secondo.

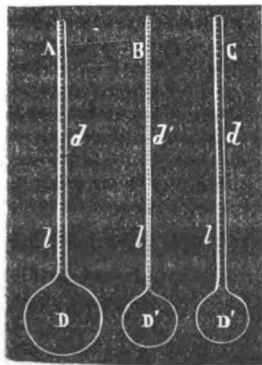



Fig. 683.

Siano A e B i due termometri dati, D e D' i diametri dei serbatoi, d e d' i diametri dei tubi. Se si concepisce un terzo termometro C che abbia lo stesso serbatoio di B e lo stesso tubo di A, e se si rappresentano con l, l', l'' le lunghezze rispettive di un grado nei tre termometri, i termometri A e C avendo delle aste di egual diametro, le lunghezze l e l'' sono direttamente proporzionali ai volumi dei serbatoi D e D', o, ciò che vale lo stesso, ai cubi del loro diametri; e i termometri B e C avendo gli stessi serbatoi, presentano le lunghezze l'' e l' inversamente proporzionali alle sezioni delle aste, o, ciò che è uguale, ai quadrati dei loro diametri. Si ha dunque

$$\frac{l}{l''} = \frac{D^3}{D'^3}, \text{ e } \frac{l''}{l'} = \frac{d'^2}{d^2};$$

moltiplicando membro per membro, si ha $\frac{l}{l'} = \frac{D^3 d'^2}{D'^3 d^2}$.

Sostituendo alle lettere i loro valori, $\frac{l}{l'} = \frac{421875 \times 225}{238328 \times 625} = 0,63$.

DILATAZIONE DEI SOLIDI (273, 277 e 278)

LIII. — Si ha una spranga di 3 metri di un metallo che ha per coefficente di dilatazione $\frac{1}{754}$; un'altra spranga di 5 metri, di un altro metallo, si dilata, per uno stesso aumento di temperatura, come la prima; trovarne il coefficiente di dilatazione.

Sia k il coefficiente di dilatazione di questa seconda spranga, il suo allungamento totale, per un grado, sarà $5 \times k$, e quello della prima spranga $3 \times \frac{1}{754}$; si ha dunque

$$5 \times k = 3 \times \frac{1}{754}, \text{ da cui } k = \frac{3}{3770}.$$

LIV. — Si ha un quadrato di lamiera di ferro di 3 metri di lato, a zero; e si porta la sua temperatura a 64 gradi. Calcolare quanto diverrà la sua superficie, sapendosi che il coefficiente di dilatazione lineare del ferro è 0,0000122.

Rappresentando con l il lato dato a zero, con l' lo stesso lato a t gradi, e con k il coefficiente di dilatazione del ferro, si ha la formola conosciuta (277) $l' = l\,(1 + kt)$, col mezzo della quale si trova il lato l' a 64 gradi, ponendovi $l = 3$, $t = 64$, e $k = 0,0000122$, ciò che dà

$$l' = 3\,(1 + 0,0000122 \times 64) = 3^{m},0023424.$$

Ciò posto, la superficie di un quadrato essendo eguale al prodotto del suo lato per sè stesso, la superficie cercata è uguale a $(3^{m},0023424)^2 = 9^{m.q},01^{d.q},41^{c.q}$.

LV. — Si vuol fare con dell'acciaio e dell'ottone un pendolo a compensazione, la cui lunghezza costante sia di $0^{m},50$. Si sa che il coefficiente di dilatazione dell'acciaio impiegato è di 0,000010788, e quello dell'ottone è 0,000018782. Si domanda quale disposizione si dovrà dare a codesto pendolo e quali dovranno essere le lunghezze delle spranghe di acciaio e di ottone perchè abbia luogo la compensazione.

Per soddisfare alle condizioni di questo problema, bisogna: 1.° che l'asta del pendolo sia formata da un sistema di spranghe di ottone e di acciaio, disposte in modo che la loro dilatazione si produca in senso contrario; 2.° che le lunghezze rispettive dell'ottone e dell'acciaio siano in ragione inversa del loro coefficiente di dilatazione (280). Si soddisfa a queste condizioni disponendo il pendolo come si è già detto (fig. 208).

Rappresentando con x la lunghezza totale delle spranghe di acciaio, e con y quella delle spranghe di ottone, si avrà, secondo l'equazione [1] del paragrafo 280, $x - y = 50^{cent}$ [1].

Di più le lunghezze x e y dovendo essere in ragione inversa dei coefficienti, si ha

$$\frac{x}{y} = \frac{18782}{10788} \quad [2].$$

Risolvendo le equazioni [1] e [2], si trova $x = 1^{m},1747$, e $y = 0^{m},6747$.

LVI. — Un vaso sferico di un raggio interno eguale a $\frac{2}{3}$ di metro, a 0 gradi, è formato di una materia il cui coefficiente di dilatazione lineare uguaglia $\frac{1}{2500}$; si domanda quanti chilogrammi di mercurio questo vaso conterrà: 1.° a 0 gradi; 2.° a 25 gradi.

Siano R il raggio del vaso, V il suo volume a zero, V′ il suo volume a t^o e K il suo coefficiente di dilatazione lineare, si avrà $V = \frac{4\pi R^3}{3}$,

$$e\ V' = \frac{4\pi R^3\ (1 + 3Kt)}{3}\ (277).$$

Sostituendo R, K e t col loro valori, si ottiene

$$V = 1241^{lit},11,\ e\ V' = 1278^{lit},333.$$

La densità del mercurio a 0° essendo 13,596, quella dello stesso corpo a 25° è $\frac{13,596}{1 + \frac{1}{5550} \times 25} = 13,535$ (278, prob. V). Dunque il peso del mercurio a 0° è

$1241^{lit},11 \times 13,596, = 16863^{chil},996$, e il peso a 25° è $1278,333 \times 13,535 = 17302^{chil},237^{gr}$.

LVII. — Un areometro di Fahrenheit pesa 80^{gr}. Quand'esso sia caricato di 45^{gr}, affiora in un liquido la cui temperatura è di 20°, e la cui densità alla stessa temperatura è 1,5. Si domanda il volume a 0° della parte immersa dell'istrumento.

Il peso del liquido spostato è $80^{gr} + 45^{gr} = 125^{gr}$, e il suo volume, a 20°, è $\frac{P}{D} = \frac{125}{1,5}$.

Tale è dunque, a questa temperatura, il volume della parte immersa; da cui il volume a 0° è (277) $\frac{125}{1,5} \times \frac{1}{1 + 0,00002584 \times 20} = 83^{c.c},290$,

0,00002584 essendo il coefficiente di dilatazione cubica del vetro.

LVIII. — La dilatazione del ferro per ciascun grado di innalzamento di temperatura essendo di 0,0000122 della lunghezza misurata a zero, quale sarà, a 60 gradi, la superficie di un disco circolare di lamiera, che, a zero, ha $2^m,75$ di diametro?

$S = \pi\ R^2\ (1 + kt)^2 = 3,1416 \times (1^m,375)^2\ (1 + 0,0000122 \times 60)^2 = 5^{m.q},94^{d.q},83^{c.q}$.

LIX. — Un regolo di platino di 2 metri di lunghezza è diviso, ad una sua estremità, in quarti di millimetro; un regolo di rame di $1^m,950$ essendo applicato sul primo, a zero, ne differisce di $0^m,050$, cioè di 200 divisioni del regolo di platino. Si domanda quale sia la temperatura comune ai due regoli quando essi differiscono di 164 divisioni del regolo di platino; il coefficiente di dilatazione del platino essendo 0,000008842, e quello del rame, 0,000017182.

La lunghezza del regolo di platino, che è di 8000 divisioni a zero, è a t^o,

$$8000\ (1 + 0,000008842 \times t)\ (277).$$

Il regolo di rame, che misura 7800 divisioni a zero, a t gradi, misurerà

$$7800\ (1 + 0,000017182 \times t).$$

Finalmente le 164 divisioni apparenti equivalgono in realtà a

$$164\ (1 + 0,000008842 \times t).$$ Si ha dunque

$$8000\ (1 + 0,000008842 \times t) - 7800\ (1 + 0,000017182 \times t) = 164\ (1 + 0,000008842 \times t),$$

$$\text{da cui si cava}\ t = \frac{36}{0,0647327} = 556^o.$$

DILATAZIONE DEI LIQUIDI (281, 282, 283, 284, 288 e 289)

LX. — Il peso specifico del mercurio essendo 13,59 a zero, si domanda quale sia, a 83°, il volume di 30 chilogrammi di questo metallo. Si prenderà per coefficiente di dilatazione del mercurio $\frac{1}{5550}$.

Il volume a zero è $\frac{P}{D} = \frac{30}{13,59}$; da cui il volume a 85° è

$$\frac{30}{13,59}\left(1 + \frac{1}{5550} \times 85\right) = 2^{lit},241.$$

LXI. — Le altezze di due barometri A e B, sono state osservate, l'una a — 10°, l'altra a + 15°; si domanda quale correzione bisogna loro far subire per ricondurle l'una e l'altra a quella che sarebbero state alla temperatura di zero, sapendo che il coefficiente di dilatazione cubica del mercurio è $\frac{1}{5550}$. Si supporrà A alto 737 millimetri, e B 763.

Codesta quistione si risolve col mezzo della formola $h = \frac{H}{1 + Dt}$ (288), ponendo t col segno +, per le temperature al disopra di zero, e col segno —, per le temperature al disotto. Da questa formola, si cava, per il barometro A, $h = 737 \times \frac{5550}{5550 - 10} = 738^{mm},3$; e per il barometro B, $h = 763 \times \frac{5550}{5550 + 15} = 760^{mm},9$.

LXII. — In un termometro a mercurio, si sa che ciascuna divisione è $\frac{1}{6480}$ della capacità del serbatoio fino allo zero della graduazione. Ciò posto, se si vuota un tale termometro, e che si riempia fino allo zero, posto che sia alla temperatura del ghiaccio che fonde, di un liquido il cui coefficiente di dilatazione assoluta sia $\frac{1}{2000}$, si domanda fino a quale divisione si innalzerà questo liquido a 20°, il coefficiente di dilatazione cubica del vetro essendo $\frac{1}{38700}$.

Il coefficiente di dilatazione apparente del mercurio nel vetro essendo $\frac{1}{6480}$, quello del liquido dato è $\frac{1}{2000} - \frac{1}{38700} = \frac{367}{774000}$. Ora, l'altezza h e l'altezza 20 che raggiungono rispettivamente questo liquido e il mercurio nell'asta del termometro essendo evidentemente proporzionali alle dilatazioni apparenti, si ha

$$\frac{h}{20} = \frac{367}{774000} : \frac{1}{6480}, \text{ da cui } h = 61°,45.$$

LXIII. — Una colonna d'acqua di $1^m,55$ di altezza, e una colonna d'un altro liquido di $3^m,17$ di altezza, si fanno equilibrio nelle branche di un sifone, la temperatura dei due liquidi essendo 4 gradi; si domanda qual è la densità del secondo liquido riguardo all'acqua, e quale sarebbe l'altezza alla quale esso si innalzerebbe se la sua temperatura fosse portata a 25 gradi, quella dell'acqua rimanendo a 4°, e il coefficiente di dilatazione assoluta del liquido essendo $\frac{1}{6000}$.

1.° Le altezze delle colonne liquide che si fanno equilibrio essendo in ragione inversa delle densità (89), si ha $1^m,55 \times 1 = 3^m,17 \times d$, da cui $d = 0,4889$, a 4°.

2.° Rappresentando con h la altezza dello stesso liquido a 25 gradi, con d la sua densità a 4 gradi, e con d' la sua densità a 25 gradi, si ha $3^m,17 \times d = h \times d'$ [1]; ora $d' = \dfrac{d}{1 + \dfrac{1}{6000} \times 25}$ (278, prob. V). Sostituendo codesto valore nell'equazione [1], si ottiene

$$3^m,17 = \frac{h}{1 + \dfrac{25}{6000}}, \text{ da cui } h = 3^m,183.$$

LXIV. — Un tubo di vetro cilindrico, chiuso alla parte inferiore e zavorrato con mercurio, si sommerge per $\frac{3}{4}$ della sua lunghezza nell'acqua a 4°; si domanda di quanto immergerebbe nell'acqua a 20°. Si sa che da 4 a 20 gradi, l'acqua si dilata di 0,00179 del proprio volume, mentre la dilatazione del vetro da 4 a 20 gradi è trascurabile.

La densità dell'acqua essendo 1 a 4°, a 20°, essa sarà in ragione inversa del volume che ha preso l'acqua, vale a dire $\frac{1}{1,00179}$. Ora, la porzione sommersa del tubo essendo in ragione inversa della densità, si ha

$$\frac{x}{\left(\dfrac{3}{4}\right)} = \frac{1}{\left(\dfrac{1}{1,00179}\right)}, \text{ da cui } x = 0,7513.$$

LXV. — Un tubo capillare essendo diviso in 180 parti di eguale capacità, si trova che una colonna di mercurio occupante 25 di queste divisioni pesa $1^{gr},2$ a 0 gradi. Ciò posto, volendo fare con questo tubo un termometro, si domanda il raggio interno del serbatoio sferico che si deve saldargli perchè le sue 180 divisioni comprendano 150 gradi centigradi.

Poichè 25 divisioni del tubo comprendono $1^{gr},2$ di mercurio, una sola divisione conterrà $\frac{1^{gr},2}{25}$, e le 180 divisioni conterranno $\frac{1,2 \times 180}{25} = 8^{gr},64$. Queste 180 divisioni dovendo comprendere 150 gradi, ne consegue che il peso del mercurio corrispondente ad un solo grado sarà $\frac{8^{gr},64}{150}$. Ma la dilatazione corrispondente ad un grado non essendo altro che la dilatazione apparente del mercurio nel vetro (283), il peso $\frac{8^{gr},64}{150}$ deve essere $\frac{1}{6480}$ del peso del mercurio contenuto nel serbatoio, peso eguale a $\frac{4\pi R^3 \times 13,596}{3}$, R essendo il raggio del serbatoio, e il peso specifico del mercurio essendo 13,596; dunque si ha $\frac{4\pi R^3 \times 13,596}{3} \times \frac{1}{6480} = \frac{8,64}{150}$; da cui $R = 1^c,8$.

DILATAZIONE DEI GAS (291, 292 e 293)

LXVI. — Si chiuse un barometro in un largo tubo che si è in seguito saldato alla lampada. La temperatura del tubo, al momento della sua chiusura, è 13°, e l'altezza

del barometro, 76. Si domanda a 0,0001 di approssimazione, a quale altezza si innalzerà il mercurio nel barometro quando la temperatura dell'aria nel tubo sia di 30°.

Non tenendo dapprima conto che della dilatazione del mercurio nel tubo barometrico passando dalla temperatura 13° a 30°, si ha $h = \frac{76\left(1 + \frac{30}{5550}\right)}{1 + \frac{13}{5550}} = \frac{76 \times 5580}{5563}$; ma siccome nel tubo chiuso la forza elastica dell'aria aumenta nel rapporto di $1 + 13\alpha$ a $1 + 30\alpha$, l'altezza barometrica deve aumentare nello stesso rapporto; dunque, finalmente, si ha

$$h = \frac{76 \times 5580\,(1 + 30\alpha)}{5563\,(1 + 13\alpha)} = 80^{c},762.$$

LXVII. — Un pallone di vetro di una capacità di 5 litri a 0° è riempito di acido carbonico a 0° e sotto la pressione di 76. Si scalda a 100° dopo averlo aperto per permettere l'uscita al gas. La pressione essendo allora 75, si domanda il peso dell'acido carbonico uscito dal pallone.

Il coefficiente di dilatazione dell'acido carbonico è 0,00367; la dilatazione cubica del vetro $\frac{1}{38700}$; 1 litro di aria a 0° e sotto la pressione 76 pesa $1^{gr},293$; e finalmente la densità dell'acido carbonico è 1,5.

A 100° e sotto la pressione 75, il volume dell'acido carbonico diviene

$$\frac{5\,(1 + 0,00367 \times 100)\,76}{75} = 6^{lit},926.$$

Alla stessa temperatura, il volume del pallone 5 è $\left(1 + \frac{100}{38700}\right) = 5^{lit},013.$

Dunque il volume del gas uscito è $6,926 - 5,013 = 1^{lit},913$.

Per avere il peso di questo gas, sapendo che i 5 litri di acido carbonico a 0° e sotto la pressione 76, pesano $1^{gr},293 \times 5 \times 1,5 = 9^{gr},697$, e che, conseguentemente, i $6^{lit},926$ a 100° e sotto la pressione 75 pesano altrettanto, si istituirà la proporzione $\frac{x}{9^{gr},697} = \frac{1^{lit},913}{6,926}$, da cui $x = 2^{gr},678$.

LXVIII. — Una vescica a pareti flessibili contiene litri 4 di aria a 30° e sotto la pressione 76. La pressione atmosferica rimanendo la stessa, si domanda a quanto si ridurrebbe il volume d'aria se si facesse discendere la vescica ad una profondità di 100 metri in un lago la cui temperatura è di 4°.

Una colonna di acqua di $10^{m},33$, a 4°, rappresentando la pressione di un'atmosfera (140), si ridurranno 100 metri di acqua in atmosfere dividendo 100 per $10^{m},33$, ciò che dà per quote $9^{at},68$. La vescica, al fondo dell'acqua, è dunque sottoposta ad una pressione di $10^{at},68$. Il problema prende dunque la seguente forma: si hanno 4 litri d'aria a 30° e sotto la pressione di 1 atmosfera; quale sarà il suo volume a 4° e a $10^{at},68$?

$$\text{da cui (292)}\quad V = \frac{4\,(1 + 0,00367 \times 4)}{1 + 0,00367 \times 30} \times \frac{1}{10,68} = 0^{lit},312.$$

LXIX. — In un pallone di vetro la cui capacità a 0° è 250 c. cubi, si introduce una certa quantità di aria secca capace di occupare 25 c. cubi a 0° e sotto la pressione di 76. Avendo chiuso il pallone e avendolo scaldato a 100°, si domanda la pressione interna.

Si sa che il coefficiente di dilatazione dell'aria è 0,00367, e la dilatazione cubica del vetro $\frac{1}{38700}$. A 100°, la capacità del pallone è $250\left(1+\frac{100}{38700}\right)=\frac{250\times 388}{387}$. A 100° e sotto la pressione di 76, il volume di aria libera sarebbe $25\,(1+0{,}00367\times 100)=25\times 1{,}367$; mentre il suo volume reale è $\frac{250\times 388}{387}$ ad una pressione sconosciuta x. Ora, al volume $25\times 1{,}367$ corrisponde la pressione 76; al volume 1 corrisponde la pressione $76\times 25\times 1{,}367$; e al volume $\frac{250\times 388}{387}$ corrisponde la pressione

$$\frac{76\times 25\times 1{,}367\times 387}{250\times 388}=10^{c},36.$$

LXX. — Un corpo pesato nell'aria, a 0° e sotto la pressione 76, perde $6^{gr},327$ del suo peso. Si domanda: 1.° il volume del corpo; 2.° la sua perdita di peso a 15° e sotto la pressione $1^{m},25$. — Si sa che la densità dell'aria rapporto all'acqua è $\frac{1}{770}$, che il coefficiente di dilatazione è 0,00367, e che si trascura la dilatazione del corpo.

1.° Un decimetro cubico di acqua pesando 1000^{gr}, lo stesso volume di aria, a 0° e sotto la pressione 76, pesa $\frac{1000}{770}=\frac{100}{77}$. Dunque il volume d'aria spostata, e per conseguenza il volume del corpo, è $6^{gr},327:\frac{100}{77}=\frac{6{,}327\times 77}{100}=4^{dec.c},872$.

2.° Per avere la perdita di peso a 15° e sotto la pressione 125^{c}, bisogna cercare il peso di $4^{lit},872$ di aria a questa temperatura e sotto questa pressione. Ora, questo peso è $\frac{100}{77}\times\frac{4{,}872\times 125}{(1+0{,}00367\times 15)\,76}=9^{gr},87$. Tale è dunque la perdita di peso cercato.

LXXI. — A quale temperatura un litro d'aria secca pesa un grammo, sotto la pressione $0^{m},77$, essendo il coefficiente di dilatazione dell'aria 0,00367, e il peso d'un litro d'aria secca, essendo $1^{gr},293$, a 0° e alla pressione $0^{m},76$?

$$\text{Si ha } \frac{1{,}293\times 77}{(1+0{,}00367\times t)\,76}=1^{gr}, \text{ da cui } t=86^{o}.$$

LXXII — Quale è a 10°,8 la perdita di peso, nell'aria, di un corpo il cui volume a questa temperatura è 5182 m. cubi; e quale sarebbe a, 25°, 13, la perdita di peso dello stesso corpo, sapendo che il suo coefficiente di dilatazione lineare è $\frac{1}{2400}$?

A 10°,8, la perdita di peso è $\frac{1^{gr},293\times 1000\times 5182}{1+0{,}00367\times 10{,}8}=6445^{ch},1$.

A 25°,13, il volume del corpo è $\frac{8152\left(1+\frac{3\times 25{,}13}{2400}\right)}{1+\frac{3\times 10{,}8}{2400}}$, e di conseguenza, la sua

perdita di peso è

$$\frac{1^{gr},293 \times 1000 \times 5182 \left(1 + \frac{3 \times 25,13}{2400}\right)}{(1 + 0,00367 \times 25,13)\left(1 + \frac{3 \times 10,8}{2400}\right)} \; 6242^{ch},9.$$

DENSITA' DEI GAS

LXXIII. — Un pallone vuoto pesa $150^{gr},475$, pieno di aria esso pesa $160^{gr},158$; pieno di un altro gas, $162^{gr},235$. 1.° la pressione essendo invariabile, si domanda la densità di questo gas relativamente all'aria; 2.° quale correzione si dovrebbe fare se la pressione fosse di $0^m,75$ nel tempo della pesata dell'aria, e $0^m,77$ durante la pesata del gas.

1.° Peso dell'aria $= 160^{gr},158 - 150^{gr},475 = 9^{gr},683$; peso del gas $= 162^{gr},235 - 150^{gr},475 = 11^{gr},760$; da cui la densità del gas riguardo all'aria (293) è $\frac{11,760}{9,683} = 1,2145$.

2.° La correzione da farsi è quella di ricondurre il peso dell'aria e quello del gas alla pressione di $0^m,76$. Perciò, il peso dell'aria essendo $9^{gr},683$ alla pressione $0^m,75$, sarà $\frac{9^{gr},683}{75}$ alla pressione 1^c, e $\frac{9^{gr},683 \times 76}{75}$ alla pressione 76. Si trova che il peso del gas alla pressione 76 è $\frac{11,760 \times 76}{77}$. Dunque la densità cercata è

$$\frac{11,760 \times 76}{77} : \frac{9,683 \times 76}{75} = \frac{11,760 \times 75}{9,683 \times 77} = 1,183.$$

LXXIV. — Un pallone vuoto pesa $137^{gr},435$; pieno di aria, esso pesa $145^{gr},237$; pieno di un altro gas pesa $152^{gr},118$. Si domanda: 1.° la densità del gas per rapporto all'aria, quando la pressione e la temperatura siano rimaste invariate; 2.° la stessa densità nel caso in cui la pressione fosse stata di 75 centimetri durante la pesata dell'aria, e di 77 centimetri durante la pesata dell'altro gas; 3.° qual genere di correzione si sarebbe dovuto fare, se la temperatura fosse stata di 8 gradi durante la pesata dell'aria, e di 11 gradi durante quella del gas?

1.° $145,237 - 137,435 = 7^{gr},802$; $152,118 - 137,435 = 14^{gr},683$; densità del gas $= \frac{14,683}{7,802} = 1,8806$.

2.° Il peso dell'aria a 75 centimetri di pressione essendo $7^{gr},802$, sotto la pressione di 76 esso è $\frac{7,802 \times 76}{75}$; quello del gas, sotto la pressione 76, è $\frac{14,683 \times 76}{77}$; dunque la densità del gas, nel secondo caso, è $\frac{14,683 \times 75}{7,802 \times 77} = 1,8337$.

3.° Bisognerebbe ricondurre il peso dei due gas a zero, moltiplicando il peso dell'aria per $1 + 0,00367 \times 8$, e quello del gas per $1 + 0,00367 \times 11$.

Oltre i problemi qui dati sulle dilatazioni, vedi quelli che sono stati dati ai paragrafi 278, 288 e 292.

CALORICI SPECIFICI (352, 353, 354, 355, 356, 357 e 365)

Tutti i problemi sui calorici specifici riposano sulle formole mtc e $m\,(t' - t)\,c$ date al paragrafo 351, e la traduzione di questi problemi in equazione consiste sempre ad

eguagliare la quantità di calorico perduta dal corpo caldo sul quale si esperimenta a quella che è stata assorbita dall'acqua e dal vaso nei quali si immerge.

LXXV. — In 25chil,45 di acqua a 12° 5, si immergono 6chil,17 di un corpo alla temperatura di 80 gradi; il miscuglio prende una temperatura di 14°,17; si domanda qual è il calorico specifico del corpo.

Rappresentando con c il calorico specifico cercato, secondo la formola $mc\ (t'-t)$ (354), il calorico perduto dal corpo caldo è rappresentato da 6chil,17 (80 — 14,17) c, e quello assorbito dall'acqua la è da 25chil,45 (14,17 — 12,5); ora, queste due quantità di calorico essendo necessariamente uguali, si ha

$$6^{\text{chil}},17\ (80 - 14{,}17)\ c = 25^{\text{chil}},45\ (14{,}17 - 12{,}5);\ \text{da cui}\ c = 0{,}104.$$

LXXVI. — Il rapporto tra il peso specifico del rame, a zero e quello dell'acqua a 4° è 8,88. Il coefficiente di dilatazione cubica, del rame, è $\frac{1}{58200}$, e la frazione che rappresenta la dilatazione totale dell'acqua, tra 4 e 15 gradi, è $\frac{1}{1360}$. Ciò posto, si domanda qual è, a 15 gradi, il rapporto dei pesi specifici di questi due corpi.

L'acqua pesando 1 a 4°, a 15° pesa $\frac{1}{1+\frac{11}{1360}}$ (278 prob. V). A zero, il rame pesa 8,88; a 15°, esso pesa $\frac{8{,}88}{1+\frac{15}{58200}}$. Dunque il peso specifico del rame a 15° è

$$\frac{8{,}88}{1+\frac{15}{58200}} : \frac{1}{1+\frac{11}{1360}} = \frac{8{,}88 \times 58200}{58215} \times \frac{1371}{1360} = 8{,}94.$$

LXXVII. — La capacità dell'oro per il calorico è 0,0298, quella dell'acqua essendo presa per unità; si domanda quanto abbisognerà di questo metallo a 45° per innalzare da 12°,3 fino a 15°,7, la temperatura di 1chil,000gr,58 di acqua.

Sia x il peso cercato, in chilogrammi; secondo la formola $m\ (t'-t)\ c$, il calorico ceduto dall'oro, raffreddandosi da 45 gradi a 15°,7, è x (45 — 15,7) 0,0298, e quello assorbito dall'acqua, scaldandosi da 12°,3 a 15°,7, è 1chil,00058 (15,7 — 12,3). Ora la quantità di calorico ceduto dall'oro essendo necessariamente uguale a quella che è assorbita dall'acqua, si ha

$$x\ (45 - 15{,}7)\ 0{,}0298 = 1^{\text{chil}},00058\ (15{,}7 - 12{,}3),\ \text{da cui}\ x = 3^{\text{chil}},896$$

LXXVIII. — Si ha una sfera di platino di 0m,05 di raggio a 95 gradi, la si immerge in 2 litri di acqua a 4 gradi; si domanda la temperatura dell'acqua quando l'equilibrio si sia stabilito. La capacità calorifica del platino è 0,0324, il suo coefficiente di dilatazione è 0,0000088i2, e la sua densità 22,07.

Siano V′ il volume della sfera a 95 gradi, e V il volume a zero; si ha

$$V' = V\ (1 + Kt),\ \text{da cui}\ V = \frac{V'}{1+Kt}.$$

$$\text{Ora}\ V' = \frac{4\pi R^3}{3} = 4 \times \frac{3{,}141592 \times 125^{\text{c.c.}}}{3} = 523^{\text{c.c.}},598.$$

$$\text{da cui } V = \frac{523.598}{1 + 0,0000088 44 \times 95} = 523^{\text{cent.cub}},158.$$

Il peso della sfera di platino è dunque

$$P = 523^{\text{cent.cub}},158 \times 22,07 = 11^{\text{chil}},546^{\text{gr}}.$$

Per conseguenza, la massa di platino, raffreddandosi da 95° a x gradi, cede, secondo la formola $m\ (t' - t)\ c$, una quantità di calorico eguale a $11^{\text{chil}},546 \times (95 - x) \times 0,0324$, e i due litri di acqua, scaldandosi da 4 a x gradi, assorbono $2 \times (x - 4)$.

Si ha dunque $2\ (x - 4) = 11,546 \times 0,0324\ (95 - x)$; da cui $x = 18°,3$.

LXXIX. — Un pallone sferico di $0^{\text{m}},14$ di raggio, è pieno di mercurio a 70 gradi; si versa il mercurio nell'acqua a 4 gradi, che riempie, a metà, un vaso cilindrico di $0^{\text{m}},40$ di altezza e $0^{\text{m}},20$ di raggio. Si sa che la capacità del mercurio pel calorico è di 0.033. Si domanda quale sarà la temperatura del miscuglio, trascurando la temperatura delle pareti del vaso.

Siano V il volume del pallone, e R il suo raggio; si sa che in geometria si ha, per il volume della sfera, $V = \frac{4\pi R^3}{3}$. Si avrà dunque, secondo i dati del problema,

$$V = \frac{4 \times 3,1416 \times 2^{\text{d.c}}744}{3} = 11^{\text{dec.cub}},494.$$

Ora, se si prende per densità del mercurio 13,6, si avrà la sua densità a 70 gradi dalla formola $d' = \frac{d}{1 + Dt}$ (278), che dà $d' = \frac{13,6}{1 + \frac{70}{5550}} = 13,4306.$

Per conseguenza, il peso del mercurio contenuto nel pallone è

$$11^{\text{dec.cub}},494 \times 13,4306 = 154^{\text{chil}},371^{\text{gr}}.$$

Il semi volume del cilindro è uguale a

$$\frac{\pi R^2 H}{2} = \frac{3,141592 \times 4 \times 4}{2} = 25^{\text{dec.cub}},133,$$

e il peso dell'acqua che contiene è $25^{\text{chil}},133^{\text{gr}}$.

Ciò posto, se si rappresenta con θ la temperatura del miscuglio, l'acqua ha assorbita una quantità di calorico rappresentata da $25^{\text{chil}},133\ (\theta - 4)$, e quella che il mercurio ha ceduta è rappresentata da $154,371 \times 0,033\ (70 - \theta)$. Si ha dunque l'equazione

$$154,371 \times 0,033\ (70 - \theta) = 25,133\ (\theta - 4);$$

da cui si cava $\theta = 15°,12$.

LXXX. — Calcolare la potenza calorifica di uno stero di legna che pesa 400 chilogrammi, e che si compone di un miscuglio di legna di quercia e di legna di pino, sapendo che il legno di quercia pesa 450 chilog per ogni metro cubo, e che il legno di pino pesa ogni metro cubo 325 chil. Che la quantità di acqua la cui temperatura si innalza da 0 gradi a 100 gradi per la combustione di un metro cubo di legna, è di 12150^{chil} per il legno di quercia e di 8775^{chil} pel legno di pino.

Siano x il volume di legna di quercia che entra in uno stero, e y il volume di legna di pino, si ha $x + y = 1$ [1].

Un metro cubico di legna di quercia pesando 450^{chil}, il volume x pesa $450\ x$; egualmente il volume y di legna di pino pesa $325\ y$; si ha dunque $450\ x + 325\ y = 400$ [2].

Risolvendo le equazioni [1] e [2], si trova $x = \frac{3}{5}$, e $y = \frac{2}{5}$.

Ora, la potenza calorifica di un metro cubico di legna di quercia essendo 12150, quella del volume x è $12150 \times \frac{3}{5}$, come quella di y è $8775 \times \frac{2}{5}$; dunque la potenza calorifica cercata è $\frac{12150 \times 3 + 8775 \times 2}{5} = 10800$.

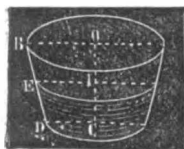
CALORICI LATENTI (300, 328, 362, 363, 364 e 365)

Faremo qui la stessa osservazione che abbiamo fatta pei calorici specifici, cioè, che tutti i problemi sui calorici latenti riposano anch'essi sulle formole mlc e $m(t' - t)c$ date al paragrafo 354.

Riguardo alla loro traduzione in equazione, essa consiste sempre ad eguagliare la quantità di calorico perduto da una parte a quella guadagnata dall'altra; ma importa di osservare che v'ha qui un termine di più da considerare che non v'è nelle equazioni sui calorici specifici, è il termine, cioè, che rappresenta il calorico assorbito o ceduto *durante il cangiamento di stato.*

LXXXI. — Quanti chilogrammi di ghiaccio, preso a zero, abbisognerebbero per ricondurre a 10 gradi centigradi l'acqua contenuta in un bacino a margine circolare e a fondo orizzontale, la cui circonferenza superiore sarebbe di $8^m,30$, la circonferenza inferiore di $6^m,15$, e l'altezza di $1^m,76$; codesto bacino essendo riempito di acqua a metà della sua altezza, e la temperatura dell'acqua essendo di 30 gradi?

Fig. 684.

Siano R il raggio OB (fig. 684) della base superiore, r il raggio CD della base inferiore, r' il raggio medio IE, e h l'altezza IC del liquido contenuto nel bacino. Secondo l'enunciato si ha

$$R = \frac{8,30}{2\pi} = 1^m,3210,\ r = \frac{6,15}{2\pi} = 0^m,9788,\ IC = 0^m,88,$$

$$\text{e } r' = \frac{R + r}{2} = 1^m,1499.$$

Ciò posto, il volume V del liquido essendo quello di un tronco di cono la cui altezza è h, e i cui raggi delle basi sono r e r', si ha, secondo un teorema conosciuto di geometria $V = \frac{\pi h}{3}(r'^2 + r^2 + rr')$; da cui, sostituendo alle lettere i loro valori, si ha

$$V = \frac{3,1416 \times 0,88}{3}\left[(1,1499)^2 + (0,9789)^2 + 1,1499 \times 0,9788\right].$$

Effettuando i calcoli, si trova $V = 3^{m.cub},138,583$, volume che rappresenta un peso di acqua di $3138^{chil},583^{gr}$.

Sia attualmente x il peso di ghiaccio necessario per raffreddare questa massa di acqua da 30° a 10°. Come si è già veduto (363) che, fondendosi, 1 chilogrammo di ghiaccio assorbe 79 unità di calorico, x chilogrammi di ghiaccio assorbiranno $79x$, per dare x chilogrammi di acqua a zero. Ora, secondo i dati della quistione, quest'ultima massa dovendo essa stessa trovarsi scaldata a 10 gradi, essa assorbe, inoltre, una quantità di calorico eguale a $10\,x$ (354). D'altra parte, il calorico ceduto dall'acqua è uguale a $3138^{chil},583 \times (30 - 10)$, o 62771,6. Si ha dunque l'equazione

$$79\,x + 10\,x = 62771,6, \quad \text{da cui } x = 705^{chil},300.$$

LXXXII. — Cercare quanti chilogrammi di vapore acqueo abbisognano per portare un bagno di 246 chilogrammi di acqua, da 13 a 28 gradi, sapendo che il calorico latente del vapore di acqua è 540.

Sia x il peso del vapore cercato; 1 chilogrammo di vapore che si condensa per dare 1 chilogrammo di acqua a 100 gradi, cedendo 540 unità di calorico, x chilogrammi di vapore cederanno $540 \times x$; di più, gli x chilogrammi di acqua formatasi, raffreddandosi in seguito da 100 gradi a 28, cedono essi pure un numero di unità rappresentato da $(100 - 28)\, x$. Ora, i 246 chilogrammi di acqua che costituiscono il bagno nel quale il vapore si condensa, scaldandosi allora da 13 a 28 gradi, assorbono una quantità di calorico eguale a 246 (28 — 13). Si ha dunque l'equazione

$$540\, x + (100 - 28)\, x = 246\,(28 - 13), \text{ o } (540 + 72)\, x = 246 \times 15;$$
$$\text{da cui } x = 6^{\text{chil}},529.$$

LXXXIII. — Una vasca cilindrica, a fondo piano e orizzontale, ha $1^{\text{m}},30$ di diametro e $0^{\text{m}},75$ di altezza interiormente; essa è a metà ripiena d'acqua a 4 gradi, e si scalda questo liquido facendovi giungere del vapore di acqua a 100 gradi fornito da $5^{\text{chil}},250$ di acqua. Si domanda quale sarà la temperatura del legno così scaldato e quale ne sarà il volume.

Si trascurerà la temperatura del vaso, e si prenderà per coefficiente di dilatazione dell'acqua $\frac{1}{2200}$.

Il volume dell'acqua $= \pi R^2 \times \frac{H}{2} = 3,1416 \times (0^{\text{m}},65)^2 \times \frac{0^{\text{m}},75}{2} = 497^{\text{lit}},747.$

θ essendo la temperatura finale, e 540 il calorico di vaporizzazione dell'acqua, si ha dunque (303, prob. V).

$$5^{\text{chil}},250 \times 540 + 5,250\,(100 - \theta) = 497,747\,(\theta - 4); \text{ da cui } \theta = 10^{\circ},6.$$

Il volume totale d'acqua dopo la condensazione sarebbe, a 4 gradi

$$497^{\text{lit}},747 + 5^{\text{lit}},250 = 502,997.$$

Il volume, a 0°, è dunque $\dfrac{502,997}{1 + \frac{1}{2200} \times 4}$, e a $10^{\circ},6$, esso è

$$\frac{502,997 \times \left(1 + \frac{10,6}{2200}\right)}{1 + \frac{4}{2200}} = 504^{\text{lit}},503.$$

LXXXIV. — Il calorico latente del vapore di acqua essendo supposto eguale a 540, si domanda a quale temperatura si innalzerà 20 litri di acqua a 4 gradi, condensandovi 1 chilogrammo di vapore a 100 gradi e sotto la pressione di $0^{\text{m}},76$.

Sia θ la temperatura finale, il calorico ceduto da 1 chilogrammo di vapore sarà 540, e quello ceduto dall'acqua risultante dalla condensazione sarà $100 - \theta$; si avrà dunque $540 + 100 - \theta = 20\,(\theta - 4)$, da cui $\theta = 34^{\circ},28$.

LXXXV. — Quanti chilogrammi di ghiaccio a zero occorreranno per liquefare e ricondurre a zero 25 chilogrammi di vapore, svolti da un apparato nel quale il termometro segna 100°, e il barometro $0^{\text{m}},76$?

Si ha $79x = 25 \times 540 + 25 \times 100$, da cui $x = 202^{\text{chil}},532^{\text{gr}}$.

LXXXVI. — 11 chilogrammi di ghiaccio a zero sono stati mescolati con P chilogrammi di acqua a 45°; il miscuglio ha preso la temperatura di 12°; si domanda il peso P.

Si ha $P\,(45 - 12) = 79 \times 11 + 12 \times 11$, da cui $P = 30^{\text{chil}},333^{\text{gr}}$.

LXXXVII. — In una certa massa di acqua a 14°, si fecero condensare 25 chil. di vapore di acqua bollente alla pressione ordinaria dell'atmosfera; la temperatura della massa di acqua essendosi elevata a 61°,4, si domanda il peso di questa massa, ammettendo che non vi sia calorico impiegato a riscaldare il vaso, e che non se ne sia perduto durante l'esperienza. Si sa d'altronde che il calorico latente del vapore di acqua è 350.

$$P = 302^{chil},446^{gr}.$$

VAPORI (336, 337 e 351)

LXXXVIII. — In un vaso vuoto, di una capacità di $2^{lit},02$, si introdusse dapprima un litro di aria secca sotto la pressione $0^m,76$, poi dell'acqua in quantità tale, che ne rimane definitivamente 20 centimetri cubici allo stato liquido. Si domanda la pressione interna, supponendo che la temperatura sia di 30° al momento dalla esperienza, e che la tensione massima del vapore di acqua, a questa temperatura, sia di $0^m,031$.

La capacità del pallone essendo ridotta dei 20 centimetri di acqua che vi restano allo stato liquido, essa non è in realtà che $2^{lit},20$, meno $0^{lit},020$, o 2 litri. Il volume di aria si trova dunque raddoppiato e, per conseguenza, la sua tensione, che era $0^m,76$, non è più che $0^m,38$, secondo la legge di Mariotte. Aggiungendo a questa pressione quella del vapore che è $0^m,031$, si ha per la pressione interna totale $0^m,411$.

LXXXIX. — Una certa quantità di aria pesa $5^{gr},2$, alla temperatura di 0 gradi e sotto la pressione $0^m,76$. La si scalda a 30° sotto la pressione $0^m,77$, permettendo che la si saturi di vapore di acqua. Si domanda quale sarà allora il volume che occuperà. La tensione massima del vapore a 30 gradi è di $0^m,0315$, e si prenderà $1^{gr},3$, per peso del litro d'aria secca alla temperatura di 0° e sotto la pressione di $0^m,76$.

Il peso di un litro d'aria secca essendo $1^{gr},3$, il volume corrispondente a $5^{gr},2$ è uguale a $\frac{5,2}{1,3} = 4$ litri, a 0 gradi e sotto la pressione $0^m,76$. A 30° il volume è dunque $4\ (1 + 0{,}00367 \times 30)$; volume che alla pressione $0^m,77$, sarebbe

$$\frac{4 \times (1 + 0{,}00367 \times 30)\ 76}{77},$$

l'aria essendo secca. Ma allorchè l'aria è satura di vapore la cui tensione è $0^m,0315$, è questa tensione, più la forza elastica dell'aria, che, dietro la seconda legge delle mescolanze dei gas e dei vapori (336), fanno equilibrio alla pressione $0^m,77$, dunque la pressione dell'aria è $0^m,77 - 0^m,0315$, e, per conseguenza, il volume cercato è

$$\frac{4 \times (1 + 0{,}00367 \times 30)\ 76}{77 - 3{,}15} = 4^{lit},56.$$

XC. — Il peso di un litro di aria a zero e sotto la pressione $0^m,76$, è $1^{gr},293$, e la densità del vapore di acqua presa per rapporto all'aria è $\frac{5}{8}$. Ciò posto, si domanda qual è, a 30 gradi e sotto la pressione 0,77, il peso di un metro cubico d'aria il cui stato igrometrico è $\frac{3}{4}$, la tensione massima del vapore a 30 gradi essendo $0^m,0315$.

Cominciamo dall'osservare che la tensione del vapore saturo essendo $0^m,0315$, questa tensione non è più che i $\frac{3}{4}$ di $0^m,0315$ quando il vapore è allo stato igrometrico $\frac{3}{4}$. Di più, l'aria di cui si cerca il peso non è, secondo la legge delle mescolanze (336), alla pressione 77, ma a questa pressione meno quella del vapore, vale a dire alla pressione $(0^m,77 - \frac{3}{4} \cdot 0^m,0315)$.

Il problema è dunque ricondotto a cercare dapprima il peso di un metro cubico di aria secca a 30° e sotto la pressione $(0^m,77 - \frac{3}{4} \cdot 0^m,0315)$, poi quello di un metro cubico di vapore a 30° e alla tensione $\frac{3}{4} \cdot 0^m,0315$, poi a fare la somma dei due pesi.

1.° A 30° e sotto la pressione $0^m,77 - \frac{3}{4} \cdot 0^m,0315 = 0^m,7464$, 1 metro cubico di aria secca pesa

$$\frac{1293^{gr} \times 74,64}{(1 + 30\alpha)\ 76} \quad [1];$$

2.° A 30° e sotto la pressione $\frac{3}{4} \cdot 0^m,0315$, 1 metro cubico di vapore pesa

$$\frac{1293^{gr} \times 3,15 \times 5 \times 3}{(1 + 30\alpha)\ 76 \times 8 \times 4} \quad [2].$$

Facendo la somma delle formole [1] e [2], si ha per il peso cercato,

$$\frac{1293^{gr}}{(1 + 30\alpha 76)} \left\{ 74^c,84 + \frac{3,15 \times 5 \times 3}{8 \times 4} \right\} = 1160^{gr},6.$$

XCI. — Si hanno 3 litri di aria a 30° e sotto la pressione 76, il cui stato igrometrico è $\frac{3}{4}$. Si domanda quanto diventerebbe questo volume di aria, alla stessa temperatura e sotto la stessa pressione, se si agitasse con dell'acido solforico concentrato, e quale sarebbe l'accrescimento di peso che assumerebbe l'acido solforico.

La tensione massima del vapore a 30° è $0^m,0315$, e la densità del vapore riguardo all'aria è $\frac{5}{8}$.

La tensione massima essendo $3^c,15$, allo stato igrometrico $\frac{3}{4}$, è $\frac{3}{4}$ di $3^c,15 = 2^c,36$. Da cui si ricava che i tre litri d'aria umida sono sotto la pressione $76 - 2,36 = 73,64$. Si tratta dunque di cercare a quanto si ridurrebbero questi 3 litri passando dalla pressione 73, 64 alla pressione 76, ciò che dà per il volume cercato $\frac{3 \times 73,64}{76} = 2^{lit},906$

Quanto al peso di 3 litri di vapore a 30° e sotto la pressione 2,36, esso è

$$\frac{1^{gr},293 \times 2,36 \times 5 \times 3}{(1 + 0,00367 \times 30)\ 76 \times 8} = 0,067.$$

È dunque codesto l'accrescimento di peso che prenderà l'acido solforico.

XCII. — Essendo dati $6^{lit},837$ d'aria saturata di vapore di acqua ad 11° e sotto la pressione di $0^m,768$, si domanda quale sarà il volume di quest'aria disseccata alla temperatura di 15 gradi e sotto la pressione di $0^m,750$. — Si sa che ad 11 gradi la tensione del vapore allo stato di saturazione è $0^m,010074$.

La pressione primitiva del gas è 768 — 10,074 = 757,926. Dunque il suo volume sotto la pressione 750 e a 11° è $\frac{6^{lit},85 \times 757,926}{750}$; da cui, a zero e sotto la pressione 750, il suo volume è $\frac{6^{lit},85 \times 857,926}{(1 + 0,00367 \times 11)\ 750}$. Dunque, finalmente, a 15° e sotto la pressione 750, il volume è

$$\frac{6^{lit},85\ (1 + 0,00367 \times 15)\ 757,926}{(1 + 0,00367 \times 11)\ 750} = 7^{lit},02.$$

XCIII. — In un tubo ad U contenente della pomice imbevuta di acido solforico, si fa passare 1 metro cubico di aria alla temperatura di 15 gradi. Il tubo in U, pesato prima e dopo l'esperienza, accusa, dopo il passaggio dell'aria, un eccesso di peso di $3^{gr},95$; si domanda lo stato igrometrico dell'aria. — Si sa che la densità del vapore di acqua riguardo all'aria è $\frac{5}{8}$, e che la tensione massima a 15 gradi è $12^{mill},69$.

Il peso di un metro cubico di aria, a zero e sotto la pressione di 760^{mill}, essendo 1293^{gr}, a 15° e sotto la pressione di $12^{mill},69$, il suo peso è $\frac{1293^{gr} \times 12,69}{(1 + 15\alpha)\ 760}$; dunque il peso di un metro cubico di vapore saturo, a 15 gradi, è $\frac{1293^{gr} \times 12,69 \times 5}{(1 + 15\alpha)\ 760 \times 8} = 12^{gr},78$.

Ma il peso del vapore contenuto nell'aria non è che di $3^{gr},95$; dunque, rappresentando con E lo stato igrometrico cercato, si ha (343) $E = \frac{3,95}{12,78} = 0,309$.

XCIV. — Una pentola di Papin contiene $3^{chil},25$ di acqua a 142 gradi. Aprendo la valvola, una porzione di acqua si evaporizza, e l'altra si raffredda a 100 gradi. Si domanda il peso del vapore prodotto, sapendo che il calorico di vaporizzazione è 540.

Sia x il peso del vapore. Il calorico passato allo stato latente sarà $540x$; e quello perduto per il raffreddamento di $3^{chil},25$ di acqua passando da 142° a 100° sarà $3^{chil},25 \times 42$. Dunque si ha

$$540\ x = 3^{chil},25 \times 42, \text{ a cui } x = 0^{chil},253^{gr}.$$

XCV. — Calcolare il volume di aria che, allo stato igrometrico 0,70, contiene 600 grammi di vapore a 30 gradi; la tensione massima a 30 gradi essendo $31^{mill},548$ e la densità del vapore $\frac{5}{8}$.

Sia x il volume cercato, volume che è lo stesso per l'aria e per il vapore. Si sa che il peso di un litro di vapore a 30° e allo stato igrometrico 0,7 è $\frac{1^{gr},293 \times 31,548 \times 0,7 \times 5}{(1 + 0,00367 \times 30)\ 760 \times 8}$ (331, prob. II). Ora, tante volte il peso di 600 grammi conterrà il peso di un litro, altrettante volte il volume cercato conterrà il volume di litri. Dunque

$$x = 600 : \frac{1^{gr},293 \times 31,548 \times 0,7 \times 5}{(1 + 0,00367 \times 30)\ 760 \times 8} = \frac{600\ (1 + 0,00367 \times 30)\ 760 \times 8}{1,293 \times 31,548 \times 0,7 \times 5}$$

$$= 28364 \text{ litri.}$$

XCVI. — Si domanda, a zero gradi e sotto la pressione di $0^m,760$, il peso di un volume di aria secca, sapendo che questo volume saturo, a 18 gradi e sotto la pressione di $0^m,78$, pesa $16^{gr},25$. — La forza elastica del vapore di acqua a 18 gradi è $0^m,01535$, e la sua densità è uguale a $\frac{5}{8}$ di quella dell'aria.

Per avere, in questo caso, il volume d'aria che, allo stato di saturazione, a 18 gradi e sotto la pressione 780, pesa $16^{gr},25$, cerchiamo il peso di un litro d'aria saturata nelle stesse condizioni. Questo peso, che si compone del peso di un litro d'aria secca, più il peso di un litro di vapore, è

$$\frac{1,293\ (780 - 15,35)}{(1 + 0,00367 \times 18)\ 760} + \frac{1^{gr},293 \times 15,35 \times 5}{(1 + 0,00367 \times 18)\ 760 \times 8} \text{ (337, prob. III).}$$

Riducendo allo stesso denominatore e semplificando, si trova, per il peso di un litro d'aria satura a 18° e 760 millimetri di pressione, $\frac{1^{gr},293\ (780 \times 8 - 15,35 \times 3)}{(1 + 0,00367 \times 18)\ 760 \times 8}$.

Dividendo il peso dato $16^{gr},25$ per il peso di un litro, si ha per il volume cercato

$$\frac{16^{gr},25\ (1 + 0,00367 \times 18)\ 760 \times 8}{1^{gr},293\ (780 \times 8 - 15,35 \times 3)}.$$

Ora, è appunto questo volume del quale si domanda il peso a zero e a 760, quando esso non contiene che dell'aria secca. Si avrà dunque il peso cercato moltiplicando questo volume per $1^{gr},293$, ciò che si ottiene sopprimendo questo fattore nel denominatore; dunque si ha per soluzione

$$\frac{16^{gr},25\ (1 + 0,00367 \times 18)\ 760 \times 8}{780 \times 8 - 15,35 \times 3} = 17^{gr}.$$

OTTICA

XCVII. — Volendo confrontare l'intensità di una lampada alla Carcel con quella di una candela, col mezzo del fotometro di Rumford (fig. 439), si trova che le ombre portate sullo schermo sembrano di eguale intensità, quando la candela essendo a 2 metri dallo schermo, la lampada è a $4^m,74$. Qual è l'intensità della lampada, presa per unità quella della candela?

Sia J l'intensità della lampada all'unità di distanza, alla distanza di $4^m,74$ essa sarà $\frac{J}{(4,74)^2}$ (438); egualmente, quella della candela, che è 1 all'unità di distanza, sarà $\frac{1}{4}$ alla distanza di 2 metri. Ma, a queste distanze, le due intensità sono eguali; dunque si ha

$$\frac{J}{(4,74)^2} = \frac{1}{4}, \text{ da cui } J = \frac{(4,74)^2}{4} = 5,617.$$

XCVIII. — Una lampada e una candela sono distanti l'una dall'altra di $3^m,15$, e l'intensità della luce della candela essendo 1, all'unità di distanza, quella della lampada è 5,6: a quella distanza della lampada, sulla linea retta che congiunge le due luci, si deve porre uno schermo, perchè sia egualmente rischiarato dall'una e dall'altra, sapendo che l'intensità di una luce è in ragione inversa del quadrato della distanza?

Sia x la distanza alla quale lo schermo deve essere posto dalla lampada; la sua distanza dalla candela sarà $3^m,15 - x$. Ciò posto, l'intensità della lampada, che è 5,6 all'unità di distanza, è $\frac{5,6}{x^2}$ alla distanza x (438); e quella della candela essendo 1 all'unità di distanza, è $\frac{1}{(3,15-x)^2}$ alla distanza $3,15 - x$. Ma in tale caso le intensità sono eguali; dunque

$$\frac{5,6}{x^2} = \frac{1}{(3,15-x)^2}, \text{ o } \left(\frac{3,15-x}{x}\right)^2 = \frac{1}{5,6} = \frac{10}{56} = \frac{5}{28},$$

e estraendo la radice, $\frac{3,15-x}{x} = \pm\sqrt{\frac{5}{28}} = \pm\, 0,422$; da cui si deducono i due valori $x = 2^m,21$, e $x = 5^m,45$. La prima corrisponde ad un punto situato fra le due luci; la seconda dà un punto situato sul prolungamento della retta che le congiunge.

XCIX. — Davanti ad uno specchio sferico concavo di $0^m,95$ di raggio, si pone, alla distanza di $3^m,4$, un oggetto BD (fig 319) la cui altezza è di $0^m,12$; si domanda la distanza dell'immagine dallo specchio e la sua grandezza.

Questo problema si risolve colla formola $\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{2}{R}$, data in ottica (453), nella quale p rappresenta la distanza dell'oggetto dallo specchio, p' la distanza dell'immagine, e R il raggio di curvatura dello specchio. Secondo l'enunciato, si ha, in centimetri, $p = 340$ e $R = 95$; sostituendo nell'equazione data qui sopra, si ha

$\frac{1}{340} + \frac{1}{p} = \frac{2}{95}$; eliminando i denominatori si trova:

$$95\,p' + 340 \times 95 = 2 \times 340\,p', \text{ o } 585\,p' = 32300, \text{ da cui } p' = 55^c,2.$$

Per calcolare poi la grandezza db dell'immagine, bisogna ricordarsi ciò che è stato detto al paragrafo 459, nel quale si è veduto che i triangoli BDC e Cdb (fig. 319) essendo simili, si ha $\frac{bd}{BD} = \frac{Co}{CK}$, da cui $bd = \frac{BD \times Co}{CK}$. Ora, per ipotesi,

$$BD = 12,\ CK = p - R = 3^m,4 - 0^m\,95 = 2^m,45;$$

e secondo il valore di p', si ha $Co = CA - Ao = 95^c - 55^c,2 = 39^c,8$; dunque

$$bd = \frac{12 \times 39,8}{245} = 1^c,95.$$

C. — Su di uno specchio piano, che gira attorno ad un asse verticale, cade un raggio di luce orizzontale fisso; quando lo specchio gira di un certo angolo a, di qual angolo spostasi, nello stesso tempo, il raggio riflesso.

Siano *mn* (fig. 685) la prima posizione dello specchio, *m'n'* la seconda quando esso si è spostato di un angolo *a*, e OD il raggio incidente fisso. Se dal centro di rotazione C con un raggio arbitrario, si descrive una circonferenza O*mn*, e che dal punto O, in cui essa interseca il raggio incidente, si abbassano le corde OO' e OO'' perpendicolari su *mn* e *m'n'*, i punti O' e O'' essendo le immagini del punto O nelle due posizioni dello specchio, l'arco O'O'' misura la deviazione angolare dell'immagine e, per conseguenza, del raggio riflesso, mentre l'arco *mm'* misura quello dello specchio. Ora, i due angoli O'OO'' e *m*C*m'* sono eguali siccome hanno i lati perpendicolari ciascuno a ciascuno; ma l'angolo, O'OO'', che è inscritto, ha per misura la metà dell'arco O'O'', e l'angolo *m*C*m'*, che è un angolo al centro, tutto l'arco *mm'*. Dunque O'O'' è doppio di *mm*, ciò che mostra che lo specchio essendo girato di un angolo *a*, il raggio riflesso girò di 2*a*.

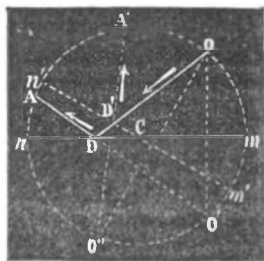



Fig. 685.

FINE

INDICE DELLE MATERIE

LIBRO PRIMO

MATERIA, FORZE E MOTO

LIBRO II

GRAVITA' ED ATTRAZIONE MOLECOLARE

LIBRO III

DEI LIQUIDI

LIBRO IV

DEI GAS

LIBRO V

ACUSTICA

LIBRO VI

CALORICO

LIBRO VII

LUCE

LIBRO VIII

MAGNETISMO

LIBRO IX

ELETTRICITA' STATICA

LIBRO X

ELETTRICITA' DINAMICA

ELEMENTI

DI METEOROLOGIA E DI CLIMATOLOGIA

RACCOLTA DI PROBLEMI